

E 487

1 OKT. 1975

FORSCHUNGSINSTITUT FÜR UMWELTHYGIENE TNO
Delft - Holland

Über die Verhinderung der Entwicklung von Blähschlamm
im niedrigstbelasteten Belebtschlammverfahren
(Oxidationsgraben)*

A. Pasveer und B.A. Heide

Es sind in der Hauptsache drei Faktoren, die zum grossen Erfolg in der Anwendung des Oxidationsgrabens geführt haben: die Einfachkeit, die weitgehende Reinigung (98 - 99% BSB-Beseitigung) und die Wirtschaftlichkeit. Heutzutage sind nach dem gleichen Prinzip auch andere Ausführungen zur Entwicklung gekommen, die man in der Literatur mit dem Oxidationsgraben zusammen einreicht unter dem Namen "extended aeration". Mir ist es lieber alle diese Ausführungen zu benennen als niedrigstbelastete Belebtschlammverfahren.

Mit der heutigen Anwendung von diesem niedrigstbelasteten Belebtschlammprozess, auch in Anlagen für mehrere hunderttausende von Einwohnergleichwerten ist es noch mehr als vorher von Bedeutung klar zu sehen, ob neben den schon genannten grossen Vorteilen, es auch eine Schattenseite gibt.

Gleich vom Anfang der Entwicklung des Oxidationsgrabens hat es drei Einwände gegeben, nämlich:

1. Der grössere Platzbedarf. Es hat sich in der Praxis gezeigt, dass dieser Umstand für kleine Anlagen nur selten zu einer Ablehnung führt. Für die heutigen Grossanlagen mit einer Tiefe von 4 oder 5 Meter, ist der Platzbedarf des Oxidationsgrabens nicht grösser als der für eine konventionelle Anlage.
2. Der höhere Energiebedarf. Die Entwicklung des Oxidationsgrabens ist mitbegünstigt durch eine ständige Steigerung von Kapital- und Arbeitskosten bei gleichbleibenden Preisen für Energie. Hier wollen wir es der Zukunft überlassen wie sich dies bei den anderen Verhältnissen weiter entwickeln wird. Es sei nur darauf gewiesen, dass bei den jetzt erhöhten Preisen für Energie, doch auch die Kosten für Kapital und Arbeit weiter stark ansteigen.

Für den Interessierten sei erwähnt, dass im vergangenen August eine holländische Veröffentlichung erschienen ist (M.K.H. Gast, H₂O (7) 1974 nr. 18), die sich mit diesem Kostenproblem befasst.

*Vortrag beim Bayerischen Biologischen Versuchsanstalt München am 11.10.1974

3. Der dritte Einwand betrifft die Beseitigung von Stickstoff- und Phosphorverbindungen. Es wurde schon gleich im Anfang der Entwicklung die naheliegende Befürchtung ausgesprochen, dass mit der erzielten Aerobenstabilisierung des Überschussschlammes, ein Teil von den in Bakteriensubstanz festgelegten Stickstoff- und Phosphorverbindungen wieder in Lösung gehen würden. Hinsichtlich des Phosphors hat es sich gezeigt, dass mit einer 40 - 60%-iger Beseitigung, das Ergebnis nicht ungünstiger ist als beim konventionellen Belebtschlammverfahren. Die Beseitigung der Stickstoffverbindungen ist im Oxidationsgraben im Durchschnitt günstiger als bei den anderen Verfahren. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im Oxidationsgraben nach vollständiger Nitrifizierung, auch wenn man nicht darauf zielt, oft durch Denitrifizierungsprozesse ein bedeutender Teil vom Stickstoff als Stickstoffgas beseitigt wird. Hat sich also die Befürchtung eines erhöhten Gehalts an Stickstoff- und Phosphorverbindungen nicht begründet gezeigt, so will ich hier doch gleich hinzufügen, dass unseres Erachtens die Reinigungsmethode für heute und für die Zukunft so gestaltet sein soll, dass ein Abfluss arm an Nährsalzen erhalten wird. Über unsere Untersuchungen in diese Richtung werde ich am Ende des Vortrags noch kurz berichten.

Aus dem soeben Angeführten geht hervor, dass diese drei genannten Einwände kein Anlass zu besonderen Sorgen waren. Anders ist dies jedoch mit einer Erscheinung, die sich bei der Weiterentwicklung unerwarteterweise vorge-
tan hat, nämlich die Erscheinung des Blähschlammes. Im Anfang waren wir davon überzeugt, dass in diesem sehr schwach belasteten Prozess die Gefahr eines Blähschlammes, d.i. einer Entwicklung von Fadenbildenden Bakterien, nicht vorhanden war. Die Ergebnisse der ersten Oxidationsgräben mit einem Schlammindex von 40 - 60 waren mit dieser Auffassung in Übereinstimmung. Im Laufe der Jahre hat sich jedoch gezeigt, dass in einem Teil der Anlagen ein so niedriger Index nicht erreicht wird und in mehreren Fällen auf 110 - 130, in einigen Fällen sogar auf 150 kommt. In einigen seltenen Fällen entwickeln die fadenbildenden Bakterien sich massenhaft und lässt sich der Schlamm nur sehr schwer vom gereinigten Abwasser scheiden.

Obwohl ein solcher Blähschlamm nur selten zur Entwicklung kommt ist doch zu bedenken, dass schon die Gefahr einer solchen Entwicklung allein dazu führen könnte, dass man auf die Vorteile des Oxidationsgrabens verzichtet.

Auch ist zu bedenken, dass wenn - wie heutzutage - mit einem Schlammindex von 130 - 150 gerechnet werden muss, ein grösseres und kostspieligeres Nachklärbecken notwendig ist als wenn man mit Sicherheit mit einem niedrigeren Schlammindex rechnen könnte.

Es ist deshalb, dass wir seit der ersten Erscheinung eines Blähschlammes in einem Oxidationsgraben 1961/62 wir uns unablässig mit diesem anerkannten schwierigen Problem befasst haben. Für uns als Untersucher hatte dies noch einen anderen Grund, nämlich dass solange nicht das Betriebsschema feststeht, nach welchem mit Sicherheit einen niedrigen Schlammindex erhalten wird, solange bleibt auch die Folgerichtigkeit der Ergebnisse von Untersuchungen über Stickstoffbeseitigung, über Schlammbeschaffenheit und Schlammbehandlung mehr oder weniger im Ungewissen.

Im Prinzip gibt es für Oxidationsgräben drei Betriebsschemas, die in den Figuren 1a, 1b und 1c dargestellt sind. Zum ersten Mal begegneten wir dem Problem des Blähschlammes 1961/62 in einem Oxidationsgraben des Typs 1c. Nach längerer Untersuchung fanden wir, dass wenn wir vom Schema von Figur 1c auf das ursprüngliche Schema vom Figur 1a übergangen, der Schlammindex von 500 à 600 herunterging bis etwa 100 à 150. Zu verstehen wie diese Verbesserung im Schlammindex zustande kommt, wenn man von einer kontinuierlichen Abwasserzufluss auf eine intermittierende Zufluss übergang, wurde eine Theorie aufgestellt, nach welcher unter gewissen Umständen die Darmbakterie *Escherichia coli* in fadenförmiges Wachstum geriet. Obwohl die Theorie völlig in Übereinstimmung mit den erzielten Ergebnissen erschien, hat Kollege Eikelboom, der sich seit 1969 eingehend mit den fadenbildenden Bakterien befasst, in seinen elektronenmikroskopischen Untersuchungen im Schlamm von Oxidationsgräben wohl etwa 50 verschiedene fadenbildende Organismen gefunden, nie aber *Escherichia coli*. Die Theorie ist deshalb als untauglich zur Seite gestellt.

Wohl wiederholt bestätigt ist, dass der Schlammindex verbessert wenn man von einer kontinuierlichen auf eine intermittierende Abwasserzufluss übergeht. Die Theorie ist von einer einfachen Folgerung ersetzt worden. Eine intermittierende Nährstoffzufuhr mit der daran verbundenen zeitweilig hohen Nährstoffkonzentration ist offenbar günstig für die Entwicklung der flockenbildenden Bakterien, während bei einem kontinuierlichen Abwasserzufluss, wobei die Nährstoffkonzentration ununterbrochen niedrig bleibt,

die Fadenbakterien mit ihrer grösseren Berührungsfläche mit der Umwelt mehr Gelegenheit haben, sich zu entwickeln.

Der Versuchsoxidationsgraben unseres Instituts ist vom Typ 1a. Er ist im Jahre 1969 in Betrieb gekommen. Es ist nicht gelungen einen echten Oxidationsgrabenschlamm mit einem Index von 40 bis 60 (Absetzzeit: eine Stunde) zu bekommen. Wie in vielen Oxidationsgräben der Fall ist, wurde ein Schlammindex von 100 bis 150 erzielt. Die Erwägung, dass in der Praxis nahezu immer die kontinuierliche Ausführung vom Figur 1b verwendet wird, führte Anfang Mai 1973 zu dem Entschluss, die weiteren Untersuchungen mit einem Betriebsschema mit kontinuierlichem Zu- und Abfluss durchzuführen.

Dies führte uns zum Schema von Figur 2. Die vorhandene Schlammtasche (mit einer belastbaren Wasserfläche von $1,8 \text{ m}^2$) wurde als Nachklärbecken eingerichtet. Gerechnet wurde, dass bei einem guten Schlammindex diese Fläche mit $3 \text{ m}^3/\text{St}$ belastet werden könnte. Mit einer Zufuhr von 72 m^3 Abwasser pro Tag mit 550 mg CSB/l würde die Belastung dann 40 kg CSB/Tag betragen, das ist 400 Einwohnergleichwerte, oder 80% der Entwurfbelastung.

In diesem Schema wird die Hauptmenge des Schlammes fortwährend belüftet. Das gleichmässig über 24 Stunden verteilte Abwasser ($3 \text{ m}^3/\text{St}$) wird mit Flockengemisch aus dem Graben zusammen gebracht ($9 \text{ m}^3/\text{St}$). Der in diesen 9 m^3 befindliche Schlamm kommt schwer mit den Nährstoffen von dem 3 m^3 Abwasser beladen in den Oxidationsgraben zurück. In diesem Schlammabwassergemisch ist der Sauerstoffbedarf sehr gross, wodurch bei genügend hoher Temperatur in einem dazu eingerichteten Raum der Denitrifikationsvorgang glatt verlaufen kann. Wir kommen hierauf am Schluss des Vortrags noch zurück.

Es zeigte sich schon bald, dass mit dem Schema von Figur 2 der lang gesuchte wirklich gute Schlammindex erhalten wurde. Dieser Erfolg und besonders auch die Arbeit einer Gruppe tschechischer Untersucher [1] hat uns auf die Spur gesetzt, die führte zu was wir jetzt als die Lösung des Problems des Blähschlammes im Oxidationsgraben betrachten. Diese Lösung ist zu finden in der Weise wie die Nährstoffe aus dem Abwasser der Belebtschlammflocke zugeführt werden. Dass es in dieser Hinsicht grosse Unterschiede zwischen den verschiedenen Betriebsschemas gibt, ist in Tabelle I dargestellt.

In den Betriebsschemas 1b und 1c mit kontinuierlichem Abwasserzufluss wird

bei jedem Umlauf die Flocke mit einer kleinen Menge organischer Substanz beladen. Ununterbrochen auch wird eine gleich grosse Menge organischer Substanz durch Assimilation und Oxidation beseitigt. Die Beladung der Flocke, das Beladungsniveau, ist und bleibt niedrig bis sehr niedrig. Beim diskontinuierlichen Betriebsschema von Figur 1a wird viermal täglich Abwasser zugegeben. Die Flockenmasse wird also viermal täglich hoch beladen; nach jeder Zugabe folgt Abbau der zugeführten organischen Substanz. Im Betriebsschema von Figur 2 wird die Flocke vorhanden in dem 9 m^3 Flockengemisch im Mischgefäss noch schwerer beladen als im Schema Figur 1a. Es dauert in diesem Fall im Durchschnitt etwa 17 Stunden ehe die Flocke im Mischgefäss aufs neue mit organischer Substanz aus dem Abwasser beladen wird.

In der letzten Spalte von Tabelle I ist die Situation bei dem sogenannten "batch-system" angegeben, wie es oft im Labor angewendet wird. Hier ist das Flockenbeladungsniveau direkt nach der einmal täglichen Abwasserzugabe noch höher als beim Schema von Figur 2.

Es sei hier noch betont darauf gewiesen, dass die Schlammbelastung in g CSB/kg Flocke/Tag in allen vier Fällen gleich ist; der Unterschied liegt in der Verteilung der Abwasserzugabe über den Tag.

Die grossen Unterschiede in der Weise, worauf die Nährstoffe der Flocke zugeführt werden, müssen einen Einfluss haben auf das bakteriologische Geschehen in der Flocke und an der Flockenoberfläche. Uns interessiert hier an erster Stelle ob und wie dieser Unterschied im bakteriologischen Geschehen im erzielten Schlammindex zum Ausdruck kommt. (Tabelle I)

In Figur 3 ist der Verlauf des Schlammindex im Versuchsoxidationsgraben ab 1. November 1972 dargestellt worden. In der Periode vor dem 7. Mai wurde mittels Eisensulfatzugabe und mittels einer unwirtschaftlichen hohen Sauerstoffzufuhr versucht einen besseren Schlammindex zu erzielen. Am 12. März wurde die Abwasserzugabe geändert von viermal täglich in dreimal täglich. Welche von den soeben genannten Umständen zu der Verbesserung in Schlammindex in März und April geführt hat, ist schwer zu sagen. Die Periode ist erwähnt worden nur zwecks Angabe der Geschichte der Flocke vor dem 7. Mai. Am 7. Mai wurde das bisher gefolgte Betriebsschema von Figur 1a geändert in das von Figur 1b, mit kontinuierlichem Abwasserzufluss direkt in den Graben, also mit einer gleichmässig auf den Tag verteilten Flockenbeladung. Der Sauerstoffgehalt im Graben wurde auf etwa 2 mg/l ein-

gestellt. Nach dieser Änderung stieg der Schlammindex bis etwa 110, bis am 6. Juni eine erste Ausführung des Schemas von Figur 2 in Betrieb kommen konnte. In drei Wochen sank dann der Index bis unter 60. Er ist seitdem immer niedrig geblieben. Die fadenbildenden Bakterien sind allmählich verschwunden und nicht mehr zur Entwicklung gekommen. Hiermit hatten wir zum ersten Mal mit unserem kontinuierlichen Oxidationsgraben erreicht, dass der Schlammindex während einer so langen Periode auf dem erwünschten Niveau blieb. Keiner der beim diskontinuierlichen Verfahren unternommenen Versuche um den Index zu verbessern hatte solch einen Erfolg. Im Zeitraum Anfang Dezember 1973 bis halb Januar 1974 wurde eine leichte Steigerung des Schlammindex beobachtet. In dieser Periode wurde in Zusammenhang mit einem Versuch über die Schlammproduktion bei niedriger Flockenbelastung, die tägliche CSB-Zufuhr bis auf 34% der Normalbelastung vermindert, wodurch auch die Flockenbelastung im Mischgefäß bis auf das Drittel zurückgebracht wurde. Am 14. Januar 1974 wurde die tägliche CSB-Zufuhr wieder auf 40 kg pro Tag gebracht.

Aus diesen Ergebnissen (Tabelle I, Figur 3) müssen wir schliessen, dass es offenbar einen Zusammenhang gibt zwischen der Höhe des Beladungsniveau der Flocke während des Mischprozesses und dem Schlammindex.

Diese Ergebnisse werden in hohem Masse von der schon früher erwähnten Arbeit von Chudoba und Mitarbeiter gestützt. Diese Untersucher haben den Einfluss der hydraulischen Verhältnisse auf den Schlammindex studiert, wobei sie die Lage bei "complete mixing" mit jener bei verschiedenen Ausführungen von Behältern in Serienaufstellung (Figur 4) vergleichen. Die Verhältnisse hinsichtlich einer Anzahl Faktoren sind dabei sehr verschieden von jenen in unserem Oxidationsgraben. Sie arbeiten mit kleinen Laboratoriumsgeräten; die mittlere Flockenbelastung in g CSB/kg/Tg ist sechs- bis zehnmal so hoch als im Oxidationsgraben. Der Sauerstoffgehalt wird in allen vier Geräten auf 2 mg/l gehalten, es gibt also keine Denitrifikation; das Abwasser besteht aus einem Gemisch von Pepton und Stärke.

In Figur 4I werden Rückfuhrschlamm und Abwasser in einem 4 Litergefäß mit "complete mixing" gebracht. Genau wie in Schema 1b ist und bleibt das Beladungsniveau der Flocke niedrig, Nährstoffe werden kontinuierlich zugeführt, und in gleicher Menge kontinuierlich dissimiliert und assimiliert. In 4II, III und IV werden Rückfuhrschlamm und Abwasser in kleineren Behältern (bzw. 1l, $\frac{1}{2}$ l, $\frac{1}{4}$ l) zusammengebracht, in denen die bakteriologischen

Prozesse durch die kleineren Flockemengen und die kürzere Verbleibsdauer weniger vollständig verlaufen.

Das Beladungsniveau der Flocke ist dadurch höher je nach die in der Figur schraffierte Fläche kleiner ist. Die Schlammindizes mit den Geräten I bis IV erzielt, sind der Reihe nach 517, 300, 91 und 51.

Chudoba und Mitarbeiter zeigen wiederholt, dass beim Überbringen des Schlamms von I nach IV und umgekehrt der Schlammindeix sich ändert und sich nach einiger Zeit auf den bei der neuen Situation gehörenden Niveau einstellt: in drei Wochen von einem guten Index zu einem schlechten in drei Monaten in umgekehrter Richtung. Auf Grund dieser Ergebnisse schlossen Chudoba u.M. ebenso wie wir, dass eine höhere Nährstoffkonzentration offensichtlich günstig ist für die flockenbildenden Bakterien, während eine niedrige Konzentration das Wachsen der Fadenbakterien befördern kann. Chudoba und Mitarbeiter sind der Meinung, dass es von Bedeutung ist über eine Anzahl Behälter ein Konzentrationsgefälle beizubehalten, bevor das Gemisch eventuell in einen "complete mixing tank" gebracht wird. Wir dagegen sind vorläufig noch der Meinung, dass eine kleine Mischanlage genügt.

Der schnell verlaufende Adsorptionsprozess macht, dass in einem Mischprozess von nur wenigen Minuten ein hohes Beladungsniveau der Flocke erreicht wird.

Das bisher Besprochene ist in Figur 5 zusammengefasst worden. Wenn das Beladungsniveau beim Mischen niedrig ist, kann man Fadenbakterien und einen hohen Schlammindeix erwarten, bei hohem Beladungsniveau der Flocke werden die Fadenbakterien verschwinden und wird der Schlammindeix besser werden. In der Mitte liegt ein Gebiet wo weniger grosse Unterschiede im Beladungsniveau, doch von grosser Bedeutung sind für den Schlammindeix, für das wohl oder nicht Auftreten von Schwierigkeiten bei der Trennung von Schlamm und gereinigtem Abwasser. Dies kann mit einigen Beispielen illustriert werden. Beim diskontinuierlichem System von Figur 1a kommen grosse Unterschiede vor. So wird in Voorschoten (Figur 6a) beim Einpumpen das Abwasser intensiv mit einer relativ beschränkten Menge der sich auf dem Grabenboden befindenden Flocke gemischt. Demzufolge ist das Beladungsniveau der Flocke hier bestimmt höher als das im Beispiel von Figur 6b (Psych. Anstalt Sankta Maria). Hier wird das Abwasser durch eine Rinse direkt über der Wasseroberfläche zugeführt. Es breitet sich auf einem grossen Teil der Grabenoberfläche aus ohne mit dem auf dem Boden abge-

setzten Schlamm gemischt zu werden. Beim wieder in Betriebkommen vom Belüftungsrotor wird das Abwasser mit einer grossen Menge Schlamm gemischt, daher eine niedrigere Flockenbeladung.

In Übereinstimmung hiermit zeigen die Oxidationsgräben "Voorschoten" und "Sankta Maria" deutliche Unterschiede in Schlammindex, nämlich respektive 40 - 60 und 100 - 150.

Auch beim Typ der Figur 1b können Unterschiede in Schlammbeladung und Schlammindex erwartet werden, je nachdem die Situation ist wie in Figur 6c, wo das eingebrachte Abwasser mit einem beschränkten Teil der Flocke, der durch den nassen Durchschnitt strömt, gemischt wird, oder wie in Figur 6d, wo das zugeführte Abwasser mit einer viel grösseren Flockenmenge gemischt wird.

Eine Beobachtung vom einem Kollegen aus der Praxis* führte zu der Zusammenstellung von Tabelle II. Hieraus geht hervor, dass bei den Oxidationsgräben mit kontinuierlichem Betrieb (Typ Figur 1b) ein guter Schlammindex erreicht wird wenn das Abwasser mit Rückfuhrschlamm gemischt dem Graben zugeführt wird (hohe Flockbeladung), und dass der Index schlecht ist, wenn das Abwasser gesondert in den Graben kommt. Oxidationsgräben mit einem diskontinuierlichen Betrieb zeigen wechselnde Ergebnisse.

Eine weitere Beobachtung machten wir in unserem Versuchsoxidationsgraben (Schema Figur 2). Am 5.4.1974 war der Schlammindex 66 - 68. Fadenbakterien nicht vorhanden. Als wir dann das Mischgefäss ausser Betrieb nahmen und das Abwasser direkt dem Graben zuführten, kam es zur Fadenbildung und stieg der Index innerhalb zwei Wochen bis auf 130 - 140. Als wir dann das Mischgefäss wieder in Betrieb nahmen dauerte es Monate bevor die Fäden wieder verschwunden waren.

Nach all diesem können wir sagen, dass es wirklich danach aussieht, dass mit den Prinzip einer intermittierend hohen Flockbeladung ein bestimmender Faktor gefunden ist, womit der Schlammindex beherrscht werden kann.

Wenn der Index in bestehenden Oxidationsgräben zu wünschen übrig lässt, kann man eine Verbesserung erreichen wenn es möglich ist das Abwasser mit Rückfuhrschlamm oder Grabenflüssigkeit zusammenzubringen bevor es dem Graben zugeführt wird. Bei Änderungen, Ausbau oder neuem Entwurf ist es bestimmt richtig mit der gewonnenen Einsicht zu rechnen.

* Ing. J. Teerink - Hoogheemraadschap van Rijnland

Ich darf wiederholen. Wir sind davon überzeugt, dass die intermittierende Beladung der Flocke mit ein bestimmender Faktor ist für den Schlammindex. Dabei ist jedoch zu bedenken, dass die Erscheinung Blähschlamm ein kompliziertes Problem darstellt, und dass auch andere Faktoren wie Tagesflockenbelastung - Sauerstoffzufuhr - Abwasserbeschaffenheit einen Einfluss haben.

Am Ende des Vortrags noch eine kurze Mitteilung über die Stickstoff- und Phosphatbeseitigung in unserem Versuchsoxidationsgraben mit Schema Figur 2. Das nach einer mittleren Aufenthaltszeit von $7\frac{1}{2}$ Minuten aus dem Mischgefäß kommende Abwasserflockengemisch durchläuft den Denitrifikationsraum, der hier einen sechsten Teil vom Gesamtvolumen der Anlage (180 m^3) einnimmt. Die Stickstoffbeseitigung die in diesem Schema in erster Instanz theoretisch erreicht werden kann, beträgt 80% wenn:

1. der Nitrifikationsprozess im Oxidationsgraben vollständig ist;
2. das dem Denitrifikationsraum hinzugeführte Nitrat bis zu hohem Grade reduziert wird;
3. 20% vom dem Abwasser zugeführte Stickstoff in Bakteriensubstanz assimiliert wird.

Vorläufige Ergebnisse zeigen, dass es im Sommer wohl möglich sein wird, eine Stickstoffbeseitigung von 80% zu erzielen. Vielleicht kann noch eine weitere Stickstoffbeseitigung erreicht werden durch Regelung vom Sauerstoffeintrag in den Graben. Im Winter ist es schwerer einen guten Erfolg zu erreichen. In dieser Aufstellung ist es bei einer Temperatur von $6 - 8^{\circ}\text{C}$ und bei kontinuierlichem Rühren in dem Denitrifikationsbecken noch nicht gelungen mehr als 50% Beseitigung zu erreichen. Bei diesen niedrigen Temperaturen ist es wahrscheinlich nicht praktisch einen Teil des Oxidationsgrabens sauerstofffrei zu halten, weil dann bei einer Normalbelastung die Vollständigkeit des Nitrifikationsprozesses gefährdet wird. Die Untersuchungen werden fortgesetzt. Darüber wird zu gegebener Zeit berichtet.

Im Schema von Figur 2 ist weiter angegeben, dass dem Schlammgemisch auf dem Weg zum Nachklärbecken kalkmilch zugeführt wird. Es handelt sich um ein neues Verfahren, das auf der Arbeit von amerikanischen Forschern beruht [2]. Diese Forscher, Ferguson, Jenkins und Eastman, haben gezeigt,

dass Phosphat mit Kalkmilch entfernt werden kann bei einem pH der viel niedriger ist als pH 11 bis 11.5, der bisher als notwendig betrachtet wurde. Es hat sich als möglich erwiesen, das Phosphat als Calciumhydroxyapatit ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$) niederzuschlagen bei einem pH zwischen 7.5 und 9.-, wenn man dafür sorgt, dass sich in der Flüssigkeit genügend Kerne von schon gebildeten Calciumhydroxyapatitkristallen befinden.

Für die Bildung dieser Kerne ist eine längere Inkubationszeit erforderlich. Im Oxidationsgraben sind die Umstände günstig für die Bildung dieser Kerne. Im Schlammgemisch sind dann die Kerne dauernd in grosser Menge vorhanden.

Es hat sich gezeigt, dass wenn man die Kalkmilch dem Schlammgemisch zusetzt zwischen Oxidationsgraben und Nachklärbecken, dass dann ein pH (z.B. von 8.8) erzielt werden kann, der um eine ganze Einheit höher liegt als wenn man die Kalkmilch direkt in den Oxidationsgraben bringt.

Während unserer ersten vorläufigen Untersuchungen (Tabelle III) wurde für 400 Einwohner 16 kg $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pro Tag zugegeben. Von diesen 16 kg wurde 6 bis 7 kg für Neutralisation von nicht denitrifizierten Salpetersäuren verbraucht. Mit einem Preis von 12 DM für 100 kg $\text{Ca}(\text{OH})_2$ errechnen sich die Kosten dann auf etwa DM 1,75 pro Einwohner pro Jahr. Wahrscheinlich kann auf Kosten erspart werden durch (teilweise) ersetzen von Calciumhydroxyd durch Industrieablauge.

Literatur

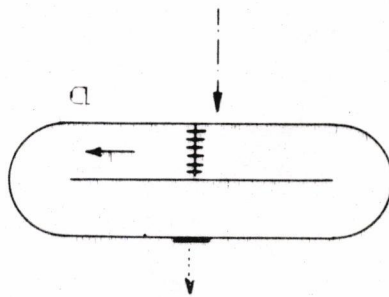
- [1] J. Chudoba, V. Ottova, V. Maderna: Water Research 7, 1973, 1163-1182
J. Chudoba, J. Blaka, V. Maderna: Water Research 7, 1973, 1389-1406
- [2] J.F. Ferguson, D. Jenkins, J. Eastman: J. Water Pollution Control Fed. 45 (4), 1973, 620-631

75Hou006

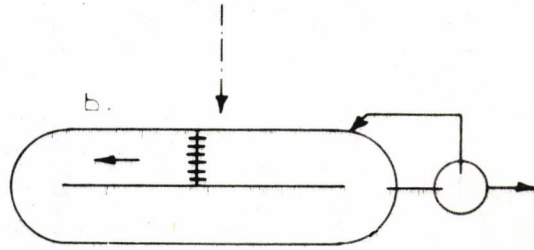
Figuren und Tabellen
Vortrag von
A. Pasveer und B.A. Heide
Über die Verhinderung der
Entwicklung von Blähschlamm
im niedrigst belasteten Belebtschlamm-
verfahren.

München 11-10-1974.

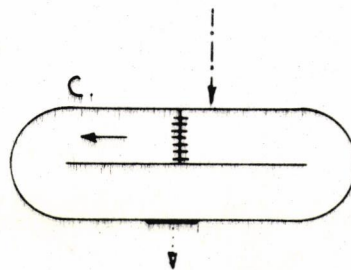
FIG. 1



4 STD. BELÜFTUNG
 1 STD. SEDIMENTIERUNG
 1 STD. { ABWASSERZUFUHR UND
 VERDRÄNGUNG DES GEKLÄRTEN
 WASSERS

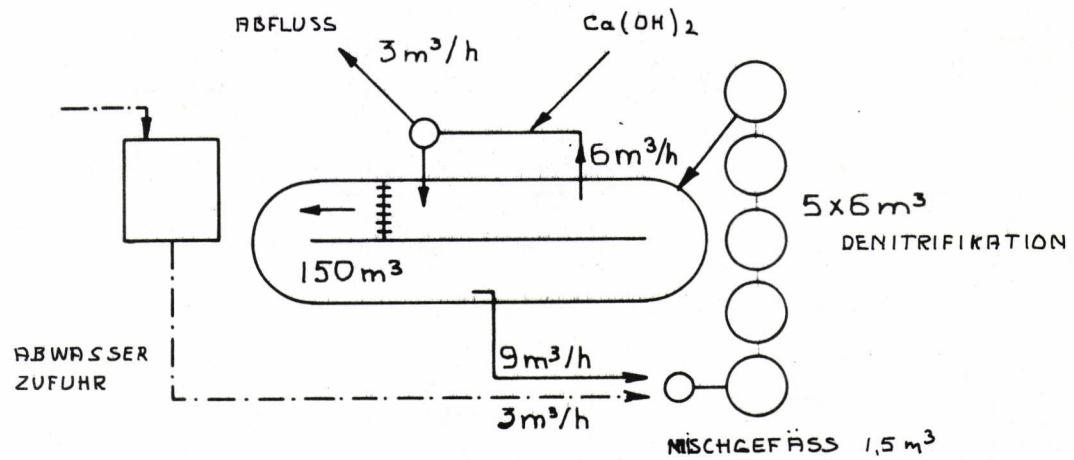


ABWASSERZUFUHR BELÜFTUNG } KONTINUIERLICH
 UND ABFLUSS



ZUFUHR ABWASSER KONTINUIERLICH
 4 STD. BELÜFTUNG
 1 STD. SEDIMENTIERUNG
 1 STD. ABFLUSS DES GEKLÄRTEN
 WASSERS

FIG. 2



OXIDATION GRABEN ZUIDPOLDER TNO - 1973-74

FIG. 3

$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 5 kg/t

Ca(OH)_2

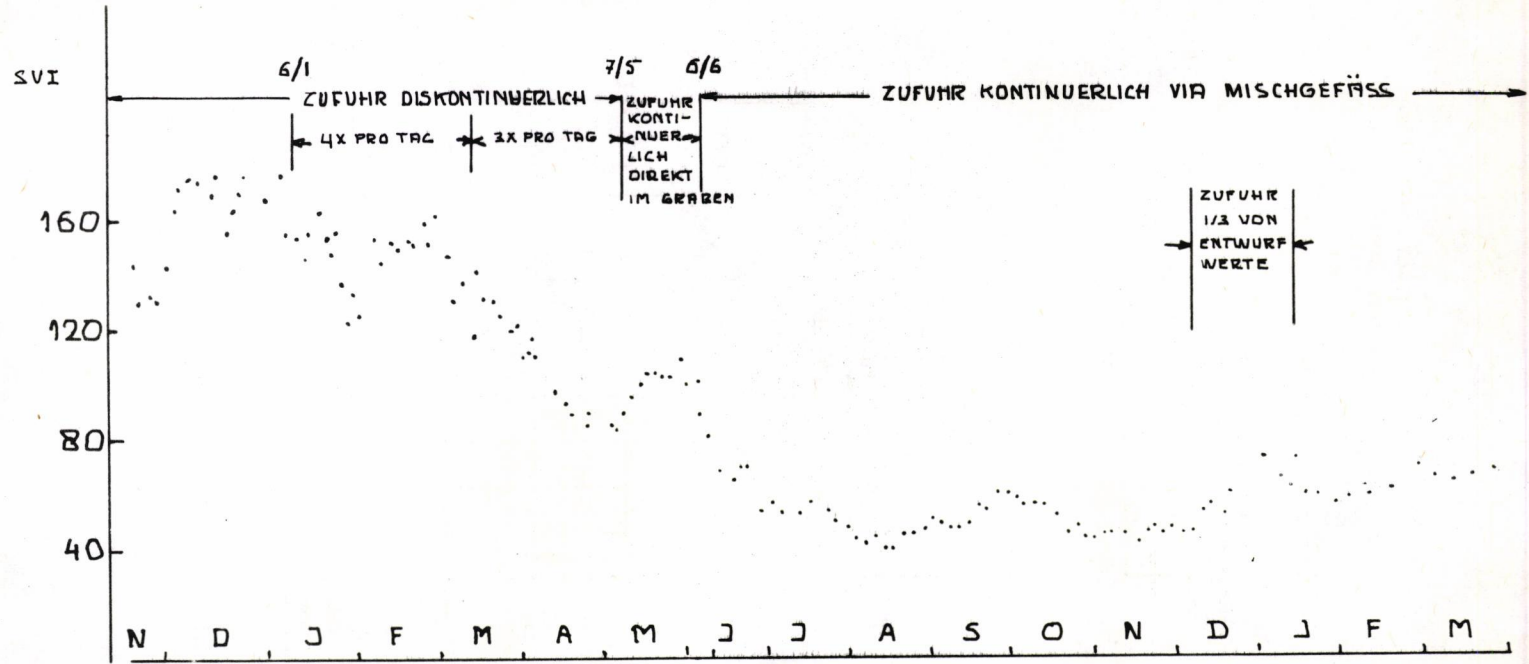
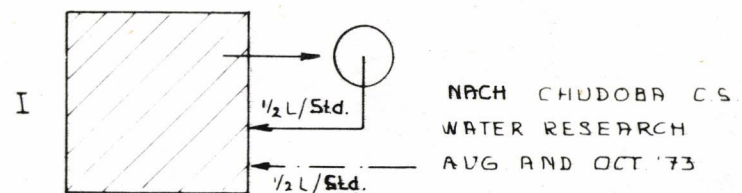


FIG. 4



NACH CHUDOBA C.S.
 WATER RESEARCH
 AUG AND OCT '73

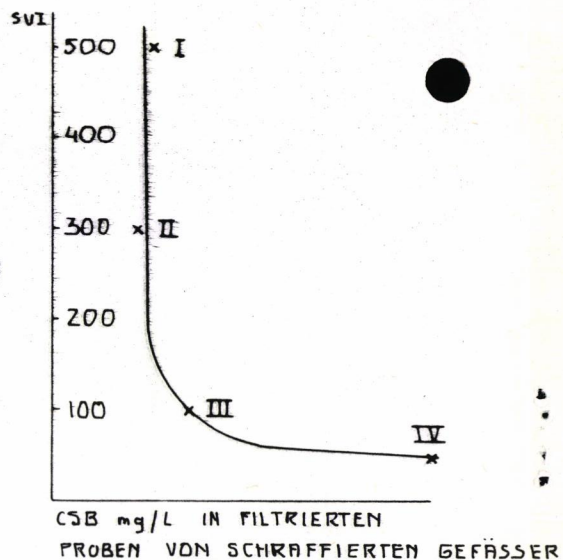
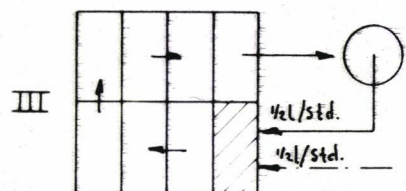
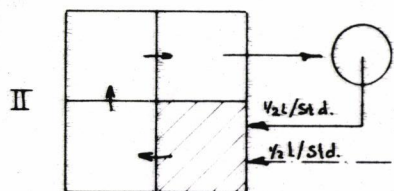


FIG. 5

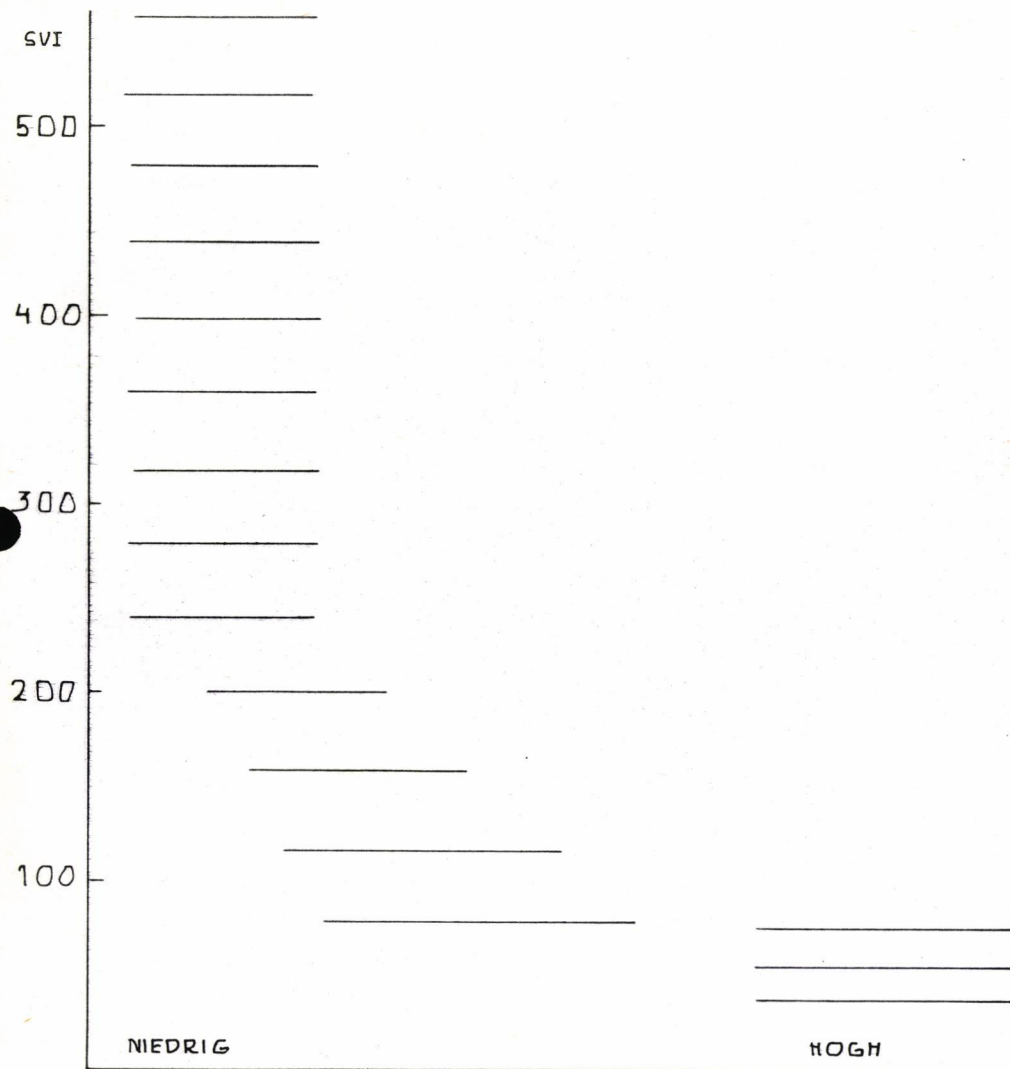
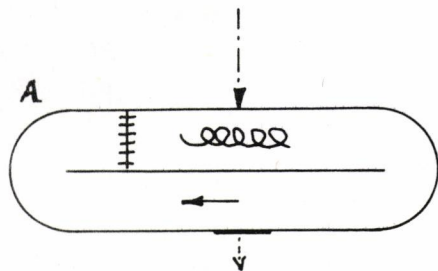
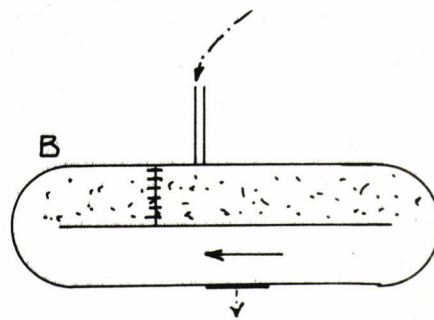


FIG. 6



VOORSCHOTEN



SANCTA MARIA

SCHEMA FIG. 1b

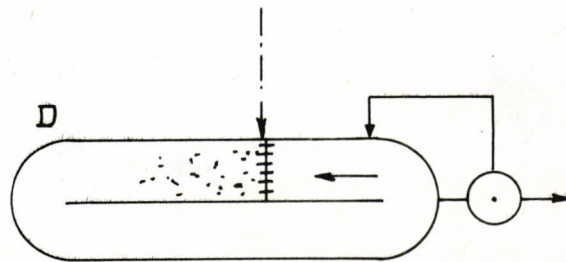
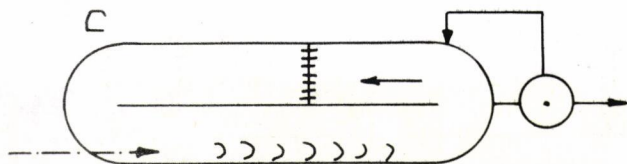


TABELLE I

ABWASSER ZUFUHR	KONTINUERLICH	DISKONTINUERLICH	KONTINUERLICH VIA MISCHGEFÄSS	LABOR VERSUCH BATCH
SCHLAMMBELASTUNG KG CSB /kg SCHLamm/t	0.089	0.089	0.089	0.089
ZYKLUS ZEIT	± 3.6 min	6 std	16.7 std.	24 std.
ANZAHL ZYKLEN PER 24 std.	± 400	4	1.44	1
FLOCKEN BELADUNGS- NIVEAU	SEHR NIEDRIG	HÖHER	HOCH	HOCH
DURCHSCHNITTlich g CSB /kg SCHLamm	(0.22)	(22)	62	89
SCHLamm INDEX	MANCHMAL 500-600	OFT 100-150	< 70	40-50

TABELLE II

OXIDATIONSGRABEN-HOOFDMEEMRAADSCHAP VAN RIJNLAND

OXIDATIONSGRABEN NAME	TYPE	RÜCK FUHR SCHLAMM	SCHLAMM
ZOETERWOUDE "HOGE RIJNDIJK"	1b	} MISCUNG MIT ABWASSER IN PUMPESUMPF	35 - 50
NIEUWKOOP	1b		30 - 45
HAZERSWOUDE "RIJNDIJK"	1b		60 - 100
LANGERAAR	1b	} DIREKT IN GRABEN	160 - 235
KOUDEKERK a/d RIJN	1b		140 - 260
WOUBRUGGE	1b		100 - 200 OFT > 150
VOORSCHOTEN	1a		40 - 60
RIJNSATERSWOUDE	1c		35 - 55
RIJPWETERING	1c		200
KRAAGDORP	1c		200 - 400

TABELLE III

PHOSPHAT ENTFERNUNG MIT $\text{Ca}(\text{OH})_2$ BEI pH 8.5-9

PERIODE 1974	$\text{Ca}(\text{OH})_2$ t/kg	ABWASSER ZUFUHR P.tot. mg/l	ABWASSER ABFLUSS		P-ENTFERNUNG %
			P.tot. mg/l	COD mg/l	
29/1 - 4/2	16	19	3	60	84.2
5/2 - 11/2	"	26	3.8	57	85.4
12/2 - 18/2	"	24	3.5	50	85.4
19/2 - 25/2	"	26.7	4.9	64	81.7
26/2 - 4/3	"	27.3			
5/3 - 11/3	"	24.1	7.1	62	70.6
12/3 - 18/3	"	18.8	3.7	72	80.3
19/3 - 25/3	"	18.3	1.7	32	90.7
26/3 - 1/4	"	20.7	3.3	49	84.-