

„Abtrennung von Bioschlamm aus der Fischzucht mittels Lamellenklärer und Membrantechnik zur Biogasgewinnung“

Nicole Pausch, Bernhard Gemende, Anja Gerbeth, Cornell Burkhardt, Tobias Wesenberg,
Günter Bellmann, Andreas von Bresinsky

1 Problemstellung und Gegenstand des Vorhabens

Beim biochemischen Abbau von Stoffwechselprodukten der Aquakultur (z. B. Karpfen, Tilapien) und Futterresten werden in Fischhaltungswässern im beträchtlichen Maße Stickstoff und Phosphor freigesetzt. Insbesondere beim Betrieb von Kreislaufanlagen kann dies jedoch durch die Akkumulation bzw. das Überangebot von Ammonium speziell bei Anwesenheit von nitrifizierenden Mikroorganismen sehr schnell zum Problem werden, da durch die Umwandlung zum fischtoxischen Nitrit für die Aquakultur ein direktes Gefahrenpotential besteht. Zur Reduktion dieser Schadstofffrachten im herkömmlichen Sinne hätte dies vermehrte Wasserwechsel bzw. hohe Investitionskosten für eine externe Nitrifikation zur Folge.

Alternativ dazu wird durch den Fischwirtschaftsbetrieb Andreas von Bresinsky (FAB) erstmalig ein Verfahren eingesetzt, bei dem das primär entstehende Ammonium, bei ausreichenden Gehalten an Sauerstoff und leicht verwertbaren C-Quellen, durch speziell selektierte Bakterien direkt im Fischhaltungswasser aufgenommen und verstoffwechselt wird. Damit beim Absterben der Mikroorganismen Lyse-Erscheinungen und in diesem Zusammenhang ein erneutes Freisetzen von Ammonium vermieden wird, muss jedoch die überschüssige bzw. abgestorbene Biomasse regelmäßig abgetrennt werden.

Dazu wird durch FAB und die Westsächsische Hochschule Zwickau (FH) (WHZ), Professur Verfahrenstechnik und Recyclingtechnik ein von der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft gefördertes Entwicklungsvorhaben bearbeitet. Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung und Austestung eines geeigneten Verfahrens zur ökologisch und wirtschaftlich sinnvollen Reinigung der oben genannten Kreislaufwässer in Fischzuchtanlagen. Dies beinhaltet hauptsächlich die Abtrennung und Entwässerung der Bakterien-Biomasse durch Erprobung verschiedener mechanischer, physikalischer bzw. physikalisch-chemischer Verfahren. Da der dabei separierte, aufkonzentrierte Biomassenschlamm sehr energie- und nährstoffreich ist, wird im Sinne der Kreislaufschließung außerdem auch dessen stoffliche Verwertung, u. a. durch Fermentation zur Biogaserzeugung, angestrebt. Dies ist jedoch im Wesentlichen Inhalt eines weiteren Entwicklungsvorhabens, das ebenfalls durch die Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft gefördert wird.

2 Material und Methoden

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt erfolgt der Einsatz der Ammonium verwertenden Bakterien submers direkt im Fischbecken. Durch das große Nährstoffangebot wächst die aktive Biomasse beständig an, bis das Wachstum durch die enorme Sauerstoffzehrung und folglich den Mangel an gelöstem Sauerstoff limitiert wird. Spätestens dann ist es notwendig, den überschüssigen Bioschlamm abzutrennen. Um den Eingriff in das biologische Gleichgewicht zu minimieren, erfolgt die Abtrennung in einer nachgeschalteten Separationseinheit.

In der nachfolgenden Abbildung 1 sind die in diesem Vorhaben zu erprobenden Verfahrensvarianten in einem vereinfachten Fließschema dargestellt.

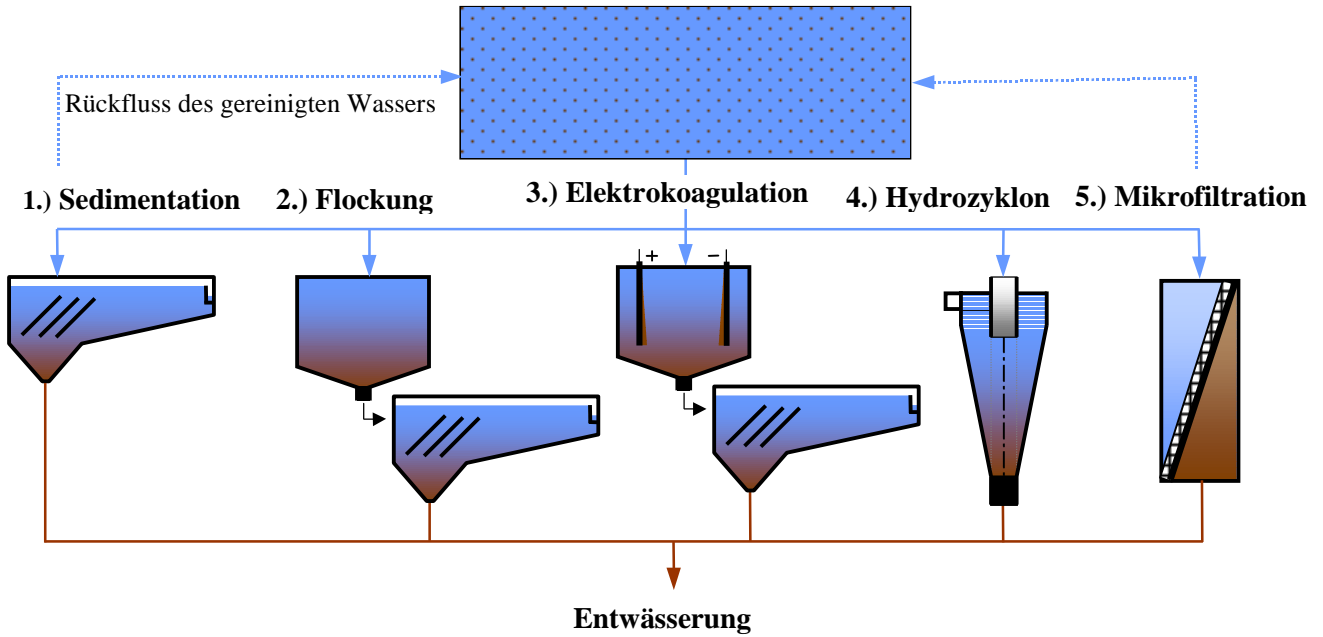




Abb. 1: Übersicht über die zu erprobenden Verfahrensvarianten: Sedimentation, Flockung, Elektrokoagulation, Hydrozyklon, Mikrofiltration jeweils mit anschließender Entwässerung

In diesem Zusammenhang wurden in Versuchen im kleintechnischen Maßstab (3 Becken mit einem Volumen von jeweils 1 m³ und einem Fischbesatz von ca. 20 ... 60 kg) bereits verschiedene Einzelverfahren zur Abtrennung aber auch als Kombination miteinander getestet.

Die nachfolgenden Ausführungen beschränken sich im Wesentlichen auf die beiden Erfolg versprechendsten Abtrennverfahren, die Sedimentation im Horizontallamellenklärer und die Mikrofiltration. Deren Funktionsweise und prinzipieller Aufbau werden in der nachfolgenden Tabelle 1 beschrieben.

Tab. 1: Funktionsweise und Versuchsaufbau der ausgewählten Verfahren mit Horizontallamellenklärer bzw. Mikrofiltration

| Verfahren und Versuchsanlage | Funktionsweise und Versuchsaufbau |
|---|--|
|  | <p><u>Funktionsweise:</u> Absinken der Feststoffteilchen aufgrund des Dichteunterschiedes zwischen Feststoffphase und fluidem Medium (Schwerkraftsedimentation)</p> <p><u>Versuchsaufbau:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Dreikammersystem mit Zulauf- (ggf. auch zur Flockungsmittelzugabe), Absetz-, Klarkammer ▪ abgewinkelte Absetzflächen in der Hauptkammer sind in mehreren Etagen übereinander angeordnet ▪ Plattenabstand, Anzahl der Etagen und somit auch die Absetzfläche sind weitestgehend variabel ▪ während des Versuchsbetriebes: Plattenabstand 5 cm, 8 Etagen je 0,6 m² |

| | |
|--|---|
| <p>Mikrofiltration/ Membrantechnik</p>  | <p><u>Grundlage:</u> Abscheiden der Teilchen mittels porösem Filtermittel, hier im speziellen durch eine Mikrofiltrationsmembran, aufgrund eines Druckgefälles</p> <p><u>Versuchsaufbau:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Verwendung von Membranmodulen bestehend aus einer Vielzahl von gebündelten Kapillar- bzw. Hohlfasermembranen ▪ Klarphase permeiert von außen ins Innere der Faser ▪ ZENON-Membran aus Polyvinylidenfluorid, Abtrennung erfolgt mittels geringem Unterdruck (0,1-0,5 bar), Abtrennfläche 10 m², Rückspülzyklus alle 10 min für 10 s ▪ EIDOS-Membran aus Polypropylen, Abtrennung erfolgt nahezu drucklos (Wassersäule 0,03-0,05 bar, Abtrennfläche 12 m², Belüftung des Membranbehälters alle 60 s für jeweils 3 s |
|--|---|

3 Ergebnisse und Diskussion ausgewählter Versuche

3.1 Sedimentationen – Horizontallamellenklärer

Bereits bei den Voruntersuchungen zur Flockung wurde beobachtet, dass sich schon vor Zugabe des Flockungsmittels ein Teil der Biomasse absetzte. Dies ist die klassische Voraussetzung für ein Sedimentationsverfahren, das in diesem Vorhaben in einem Horizontallamellenklärer praktisch umgesetzt wurde. Wichtigste verfahrenstechnische Kenngröße ist dabei die Absetzgeschwindigkeit, die im stationären Zustand sowohl durch den Dichteunterschied zwischen der Biomasse und dem Fischhälterungswasser aber auch durch die Partikelgröße bestimmt wird. Im dynamischen Zustand wird das Abtrennverhalten zusätzlich durch den Volumenstrom beeinflusst, dessen Variation in der nachfolgenden Abb. 2 grafisch dargestellt ist.

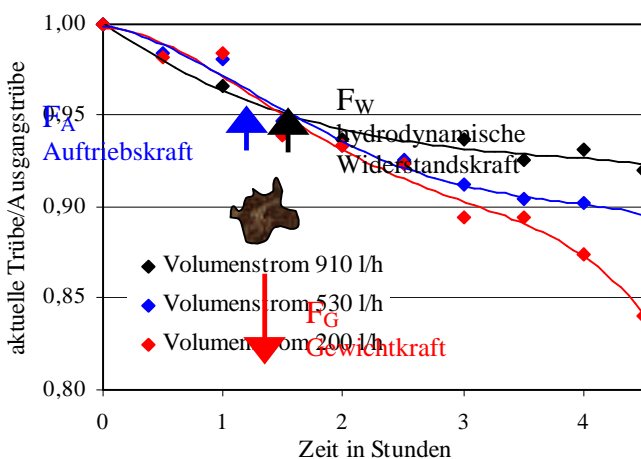


Abb. 2: Abtrennverhalten im Horizontallamellenklärer in Abhängigkeit vom Volumenstrom

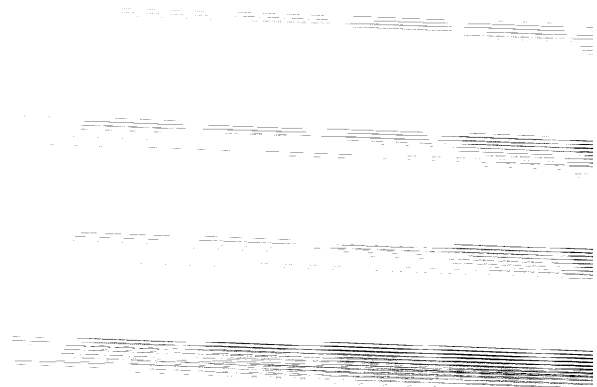


Abb. 3: Schematische Darstellung eines Kräftegleichgewichts an einem Teilchen im Wasser

Dabei ist das Verhältnis Trübe/Ausgangstrübe (äquivalent zum Feststoffgehalt) über der Versuchsdauer aufgetragen. Es ist zu erkennen, dass sich mit zunehmendem Volumenstrom das Abtrennverhalten der Biomasse verschlechtert. Die Verweilzeit im Klärer reicht dann insbesondere für das Absetzen der kleineren

Teilchen nicht mehr aus. Folglich kann durch Veränderung des Volumenstromes die Trennkorngröße variiert werden. Die kleinste abtrennbare Korngröße wird durch das in Abb. 3 dargestellte Kräftegleichgewicht bestimmt. Des Weiteren wurde beim Vergleich der Messdaten festgestellt, dass sich nach einer bestimmten Betriebsdauer (z. B. bei 500 l/h nach circa 6 h) bezüglich der Biomasseentfernung ein stationärer Zustand einstellt, in dem alle Teilchen bis zur für den jeweiligen Volumenstrom charakteristischen Trennkorngröße entfernt sind.

Bei weiterer Verringerung des Volumenstromes konnte anhand der Messwerte ein Ansteigen der Ammonium- und Phosphatkonzentrationen im Kreislaufwasser beobachtet werden. In diesem Zusammenhang ist anzunehmen, dass es aufgrund der geringen Überströmung im Horizontallamellenklärer zur Ausbildung von Totzonen kommt, in denen akuter Sauerstoffmangel herrscht. Dies bewirkt zumindest teilweise das Absterben der Biomasse, dass wiederum Lyse-Effekte (Freisetzen von Ammonium, Phosphat etc.) zur Folge hat. In diesem Fall kann das dann bereits belastete Wasser nicht in den Kreislauf zurückgeführt werden.

3.2 Mikrofiltration – Membrantrenneinheit

Im Gegensatz zur Sedimentation, bei dem die Abtrennung in Abhängigkeit von der Korngröße erfolgt, wird bei der Mikrofiltration die Rückhaltung der Partikel allein von der Porengröße der Membran bestimmt. Für die Auswahl geeigneter Membranen wurde von der Firma Sympatec eine Partikelgrößenanalyse durchgeführt, die eine Häufigkeitsverteilung ergab, die sich sehr wahrscheinlich aus Einzelbakterien (5-10 μm), Bakterien während der Zellteilung (20-25 μm) und größeren akkumulierten Zellgebilden (> 50 μm) zusammensetzt. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt wurden bereits zwei prinzipiell geeignete Hohlfasermembranen getestet. Dabei handelt es sich zum einen um die Membran ZW 500 der Firma ZENON, deren nominelle Porengröße 0,04 μm beträgt [Döpkins, 2004], zum anderen um das Konkurrenzprodukt des tschechischen Herstellers EIDOS mit dem Partikel größer 0,5 μm zuverlässig abgetrennt werden können [EIDOS, 2004]. Der Hersteller gibt als maximale Größe der Schlitzporen 0,2 μm x 0,9 μm an [EIDOS, 2005].

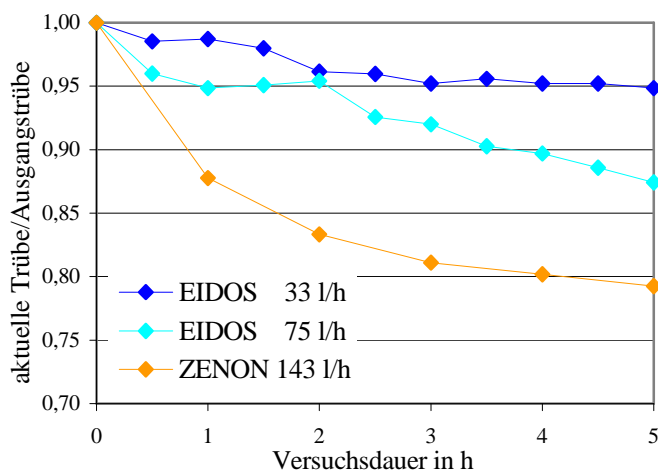


Abb. 4: Vergleich verschiedener Membrantypen (EIDOS, ZENON) bei verschiedenen Volumenströmen



Abb. 5: EIDOS-Membranmodule vor bzw. nach mehrtägigem Betrieb

Die Abbildung 4 zeigt exemplarisch das Abtrennverhalten beider Membranen, wobei ebenfalls das Verhältnis Trübe/Ausgangstrübe über der Versuchsdauer aufgetragen ist. Bei der Verwendung der ZENON-Membran konnte bei einem mittleren Volumenstrom von 143 l/h innerhalb von 5 h eine Reduzierung der Trübe im Becken um mehr als 20 % erreicht werden, was einer effektiv abgetrennten Feststoffmasse von 517 g TS entspricht. Während dieser Zeit erfolgte im Membranmodul eine Aufkonzentrierung der Biomassesuspension bis zu 0,5 Masse-%. Im Vergleich dazu sind in der Abbildung 4 auch ausgewählte Ergebnisse der Versuche mit der EIDOS-Membran dargestellt. Auch in diesem Fall konnte eine signifikante Verringerung der Trübe im Becken verzeichnet werden, welche direkt mit dem jeweiligen Volumenstrom korreliert. Da der Unterschied der Porenweiten beider Membranen für die in dieser Anwendung vorhandenen Partikel nicht relevant ist, verhält sich auch der abgetrennte Feststoffanteil bei der ZENON-Membran gleichermaßen direkt proportional zum Volumenstrom.

Bei fast allen Membranversuchen wurde trotz Rückspülzyklen (ZENON) bzw. Druckbelüftung (EIDOS) mit zunehmender Betriebsdauer eine deutliche Verringerung der Volumenströme beobachtet. Ursache dafür ist der steigende Druckverlust, der sich aufgrund der Verstopfung der Membranporen und durch die Anlagerung der Biomasse an der Membranfläche ausbildet (Abb. 5). Dies hat zur Folge, dass insbesondere nach Dauerbetrieb die Membran unter Einsatz von Chemikalien (je nach Art der Membran Wasserstoffperoxid bzw. Natronlauge) gereinigt werden muss. Eine Abnahme der Trennleistung mit steigender Betriebsdauer (von mehreren Monaten) ist nicht auszuschließen.

4 Zusammenfassung

Vorgestellt wurden Untersuchungen zur Entwicklung und Testung verschiedener Verfahren zur Reinigung von Kreislaufwässern in der Fischzucht, speziell für die Abtrennung von überschüssiger Bakterien-Biomasse.

Im Rahmen der vorliegenden Ergebnisse kann festgestellt werden, dass das Verfahren der Sedimentation im Horizontallamellenklärer prinzipiell zur Abtrennung der Bakterien-Biomasse geeignet ist. Die Vorteile dieser Methode bestehen zum einen in den geringen Anschaffungs- und Wartungskosten des Klärers. Zum anderen können in verhältnismäßig kurzer Zeit große Wassermengen gereinigt werden. Damit werden zumindest die größeren Feststoffteilchen (z. B. Kot, Futterreste) und die akkumulierten Biomasseflocken entfernt. Da jedoch die Zusammenlagerung der Einzelbakterien zu größeren, sedimentierbaren Strukturen sehr stark von den Eigenschaften der Bakterien, vorrangig der Oberflächenladung, abhängt, spielen im speziellen Anwendungsfall des Vorhabens auch die Schwebstoffteilchen eine bestimmende Rolle. Aus diesem Grund ist die Begrenzung der kleinsten abtrennbaren Korngröße der entscheidende Nachteil dieser Verfahrenstechnik.

Im Gegensatz dazu können bei der Mikrofiltration auch Einzelbakterien abgetrennt werden, da die Trennkorngröße je nach der Porengröße der Membran definiert wird. Auf diese Art und Weise ist eine gleichmäßige, korngrößenunabhängige Entfernung der Partikel möglich, so dass die prinzipielle Zusammensetzung der Mikroorganismen-Konsortien nicht signifikant verändert wird. In diesem Zusammenhang wird auch die Regulierung der Biomassekonzentration (Resttrübe) im Becken erleichtert, die ja die Voraussetzung für eine funktionierende Ammonium-Verwertung ist. Ein weiterer Vorteil des Verfahrens besteht in der Möglichkeit zur Aufkonzentrierung der Biomasse, was besonders für die sich anschließende Entwässerung von großer Bedeutung ist. Nachteile des Verfahrens sind jedoch sowohl die hohen Anschaffungskosten für die Membranen, da relativ große Trennflächen erforderlich sind, sowie der erhebliche Wartungsaufwand und Chemikalienbedarf bei der Regenerierung der Membranen.

Im Vergleich zur Sedimentation ist die Mikrofiltration für die Abtrennung von Bakterien-Biomasse aus Fischhälterungswässern aufgrund der entscheidenden und auch überwiegenden Vorteile auf jeden Fall zu bevorzugen. Weitere bisher erprobte Verfahrenstechniken, insbesondere Flockung sowohl mit synthetischen als auch natürlichen Polymeren, Flotation und ausgewählten Verfahrenskombinationen sind aus verschiedenen Gründen für diese Anwendung nicht geeignet. Entsprechende Vergleiche sind in [Gemende et al., 2005] und [Wesenberg, 2005] dargestellt.

5 Danksagung

Die mit dieser Publikation verbundenen Arbeiten erfolgen im Rahmen des durch die Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft geförderten Projektes „Abtrennung, Entwässerung und Aufkonzentrierung von Bakterien-Biomasse aus Kreislaufwasser von Fischzuchtanlagen“ (Förderkennzeichen 1-67-000-0101-14-2004-59-1). In diesem Zusammenhang gilt besonderer Dank den Projektbegleiterinnen Ulrike Bobach und Catrin Grohmann für die Unterstützung und Geduld bei der Bearbeitung formeller Aufgaben.

6 Literatur

Döpfens, E.: Getauchte Membranen zur Abwasserreinigung und Wasseraufbereitung. F & S Filtrieren und Separieren **18** (2004) Nr. 4, 171-175.

EIDOS: Standard Membrane Data Sheet HF PP-M6. Stand: 04/2004, <http://www.eidos-membranes.cz>.

EIDOS: http://www.eidos-membranes.cz/products_fibre.html (Stand: 20.05.2005).

Gemende, B.; Pausch, N.: Zwischenbericht zum Förderprojekt „Abtrennung, Entwässerung und Aufkonzentrierung von Bakterien-Biomasse aus Kreislaufwasser von Fischzuchtanlagen“ (Förderkennzeichen 1-67-000-0101-14-2004-59-1), Zwickau, 2005.

Wesenberg, T.: Biomasse aus Fischhälterungswässern im Kreislaufbetrieb. Praktikumsbericht, Zwickau; 2005.

7 Adressen der Autoren

Dipl.-Ing. (FH) Nicole Pausch, Prof. Dr.-Ing. Bernhard Gemende, Dipl.-Ing. (FH) Anja Gerbeth, Cornell Burkhardt, Tobias Wesenberg

Westfälische Hochschule Zwickau (FH), Postfach 201037, D-08012 Zwickau

Telefon: +49-375/536-1787 (1501); Fax: 1503; E-Mail: bernhard.gemende@fh-zwickau.de

Dr. Günter Bellmann, Andreas von Bresinsky

Fischwirtschaftsbetrieb Andreas von Bresinsky, Thomas-Müntzer-Str. 6, D-04579 Oelzschau

Telefon: +49-34347/81679, Fax: 81701; E-Mail: Andreas.von.Bresinsky@online.de