



Nachhaltige Aquakultur – Erfahrungen aus dem Betrieb einer Fischzucht-Kreislaufanlage

Anja Gerbeth, Bernhard Gemende, Martin Schwind, Andreas von Bresinsky, Ralf-Peter Busse

1. MODERNE AQUAKULTUR ALS ALTERNATIVE ZUR TRADITIONELLEN FISCHEREIINDUSTRIE

Bei der detaillierten Betrachtung der globalen Ernährungssituation können zwei grundsätzliche Trends identifiziert werden: Zum einen führt der stetige Anstieg der Weltbevölkerung zu einem gesteigerten Gesamtbedarf an Nahrungsmitteln, insbesondere auch an tierischem Eiweiß, zum anderen wird eine Umstellung der Ernährungsgewohnheiten im Speziellen in den hochindustrialisierten Staaten verzeichnet. Hinsichtlich beider Aspekte kommt der Bereitstellung immer größerer Mengen qualitativ hochwertiger Fischprodukte besondere Bedeutung zu. So liegt der mittlere Pro-Kopf-Verbrauch an Fisch in den mitteleuropäischen Staaten im Durchschnitt bei mehr als 20 kg/a, ebenso wie in Nordamerika; Werte unter 10 kg/a sind weltweit nur in einigen Gebieten Afrikas, Südamerikas und Vorderasiens zu verzeichnen [FAO, 2009].

Demgegenüber stehen die negativen Auswirkungen der traditionellen Meeres- und Binnenfischerei. Viele natürliche Populationen in den Ozeanen sind massiv überfischt. Seit den 1970er Jahren geht der Anteil der nur moderat ausgebeuteten Fischbestände stetig zurück. Im Jahr 2006 lag er bei lediglich ca. 20 % der überwachten Spezies und Bestände; zum gleichen Zeitpunkt sind allerdings schon ca. 50 % der Bestände aufgrund der extensiven Befischung bedroht. [FAO, 2009] Weitere Problematiken der Fischfangwirtschaft sind die nicht angemessenen Fangtechniken, die zur Modifikation und Schädigung natürlicher Lebensräume führen, sowie insbesondere die Thematik des Beifangs. Dabei handelt es sich sowohl um den versehentlichen Fang und meist die damit verbundene Tötung von Vertretern gefährdeter Tierarten (z. B. Meeresschildkröten, Haien und Walen) als auch die Problematik der kaum nutzbringenden Verarbeitung oder ungenutzten Entledigung teils großer Mengen mit angelandeter Nicht-Ziel-Spezies.

Diesem globalen Problem kann auf verschiedene Weise begegnet werden. Eine Variante ist die strenge Reglementierung erlaubter Fangtechniken und die Einführung und konsequente Überwachung von Fangquoten. Eine Alternative zu den Wildfängen ist dagegen die kontrollierte Aufzucht von Fischen und sonstigen aquatischen Organismen, deren professionelle Umsetzung unter dem Begriff Aquakultur zusammengefasst wird.

Die Aquakultur stellt u. a. insofern eine vielversprechende Alternative in der Produktion tierischen Eiweißes dar, als dass hier die effizienteste Futterumsetzung im Tierhaltungssektor erreicht wird. Während man mit 1 t Futter lediglich ca. 150 kg Rindfleisch erzeugen kann, ist damit die Produktion von nahezu 1 t Fisch möglich [HART, 2009]. Allerdings ist zu beachten, dass auch die Aquakultur negative Einflüsse auf die Umwelt und natürlichen Ressourcen haben kann. So besteht z. B. ein enormer Bedarf an Fischmehl und -öl für das Futter karnivorer Fische (so dass die Aquakultur selbst teils zur Überfischung beiträgt), bestimmte Haltungstechniken führen zur massiven Verschmutzung von Flüssen und Küstenregionen und Wildbestände können durch die Interaktion mit Zuchtbeständen (u. a. entkommene, genetisch modifizierte Fische aus Zuchtstationen) gefährdet werden.

All die genannten negativen Einflüsse können durch eine nachhaltig betriebene Aquakultur weitestgehend vermieden werden. So kommt der Implementierung geeigneter Haltungstechniken und Systeme ebenso große Bedeutung zu, wie der Nutzung von Wasserreinigungs- und -aufbereitungssystemen nach dem Stand der Technik und der verantwortungsvollen Auswahl geeigneter Spezies. Den so genannten (geschlossenen) Fischzucht-Kreislaufanlagen, bei denen das genutzte Wasser stets im Kreislauf geführt wird, kommt hinsichtlich der genannten und weiterer ökologisch relevanter Aspekte eine besondere Bedeutung zu. Sie stellen jedoch auch eine hohe Herausforderung hinsichtlich der Prozessführung und -überwachung dar.

Intensive Programme “Renewable Energy Sources”

In der vorliegenden Veröffentlichung wird ein kurzer Abriss zu den Erfahrungen und Erkenntnissen aus dem mehrjährigen Betrieb einer Fischzucht-Kreislaufanlage im industriellen Maßstab, errichtet und betrieben durch die Industriepartner Busse GmbH und Fischwirtschaftsbetrieb Andreas von Bresinsky, gegeben.

2. AQUAKULTUR-KREISLAUFANLAGE IM INDUSTRIELLEN MAßSTAB

2.1. Entwicklung eines alternativen Verfahrens zur Wasserreinigung

In den Jahren 2002/2003 wurde durch den Fischwirtschaftsbetrieb Andreas von Bresinsky ein neuartiges Verfahren zur Reinigung von Wässern in der Intensivfischzucht entwickelt (vgl. Abb. 1). Dieses unterscheidet sich von dem aus der Abwasserbehandlung bekannten und auch in der Fischzucht eingesetzten Verfahren der Nitrifikation sowie der hier seltener gekoppelt eingesetzten Denitrifikation zum Stickstoffabbau dahingehend, dass bereits das primär aus Abbauprodukten der von den Fischen ausgeschiedenen Exkremente bzw. nicht genutzten Futterbestandteilen freigesetzte Ammonium durch die heterotrophe Assimilation bestimmter Mikroorganismen aus dem Wasser entfernt wird. Die Umsetzung zu fischtoxischen Verbindungen, wie beispielsweise Nitrit, wird damit unterbunden.

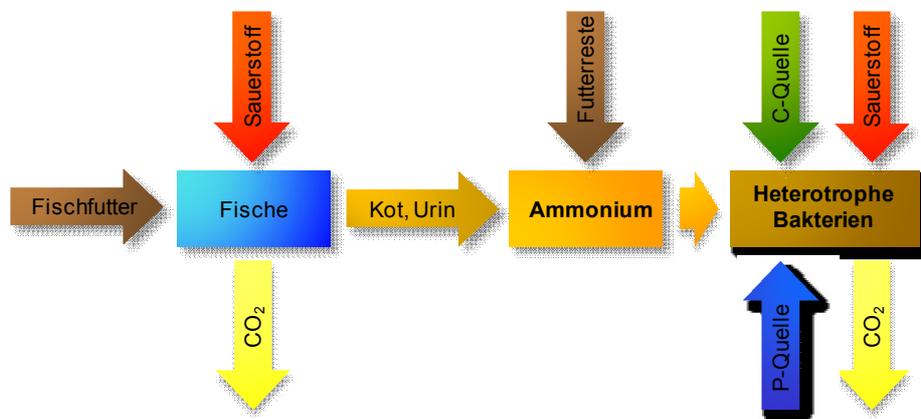


Abb. 1: Schematische Darstellung der Stoffströme im Verfahren der heterotropen Ammoniumassimilation zur Wasserreinigung in der Intensivfischzucht

Die eingesetzten Bakterien gehören zu den Gattungen *Pseudomonas* sp. und *Bacillus* sp. Sie werden mit einer zusätzlichen externen Kohlenstoffquelle versorgt und befinden sich in der Regel direkt in den Fischhaltungsbecken. Verfahrensbedingt entsteht ein Anteil Überschussbiomasse, der aus dem Haltungswasser abgetrennt werden muss, um Lyseerscheinungen und eine damit verbundene erneute Kontamination des Wassers zu vermeiden.

Das Verfahren wurde u. a. dahingehend optimiert. Nach der vergleichenden Testung unterschiedlicher Trennverfahren (vgl. dazu u. a. [PAUSCH ET AL., 2005]) wurde die Membranmikrofiltration als Methode zur Abtrennung der Biomasse ausgewählt. Das Gesamtverfahren wurde in Langzeitversuchen im Pilotmaßstab getestet und validiert (vgl. auch [PAUSCH ET AL., 2006]).

2.2. Industrielle Umsetzung der Entwicklungsergebnisse

Im November 2006 wurde in Thierbach (südlich von Leipzig) eine Fischzucht-Kreislaufanlage in Betrieb genommen, in der das beschriebene Verfahren erstmals großtechnisch umgesetzt wird.

Die Anlage dient primär der Erbrütung von Fischen und der Produktion von Setzlingen – sowohl für die traditionelle Teichwirtschaft als auch für andere Aquakulturanlagen. Ihr weitgehend modularer Aufbau prädestiniert sie für die Durchführung von Versuchen und die Erprobung innovativer technischer Lösungen.

Insgesamt besteht die Anlage neben zusätzlichen Nebenanlagen (Hälterung, Versuchsanlagen, Enteisenung zur Aufbereitung des genutzten Brunnenwassers, Speicherbehälter für das Frischwasser)

Intensive Programme “Renewable Energy Sources”

und weiterer Infrastruktur (Labor-, Büro- und Sozialräume, Werkstatt, Notstromversorgung, zentrale Gas- und Druckluftversorgung, Membranreinigungsstation etc.) aus insgesamt vier Produktionsstufen. In der Brutanlage, in der die Eier eigener Brutfische bzw. zugekaufte Chargen erbrütet werden und die frisch geschlüpften Larven für einige Tage bis Wochen verbleiben, sowie in der Aufzuchtanlage, in der die Larven bis zur Größe von Fingerlingen gehalten werden, erfolgt die Wasserreinigung auf konventionelle Art in einem kombinierten Verfahren aus mechanischer Abtrennung von Partikeln und Schwebstoffen mittels Spaltsieb und Filter sowie Nitrifikation in Festbettkolonnen.

Das beschriebene neuartige Wasserreinigungsverfahren wird in den Langstrombecken (insgesamt 10 Stück mit einem nominellen Wasservolumen von je 5 m³) und den Rundbecken (insgesamt 6 Stück mit einem nominellen Wasservolumen von je 20 m³) erfolgreich eingesetzt.

Eine schematische Darstellung der Gesamtanlage sowie einige Anlagenteile im Detail zeigt Abb. 2.

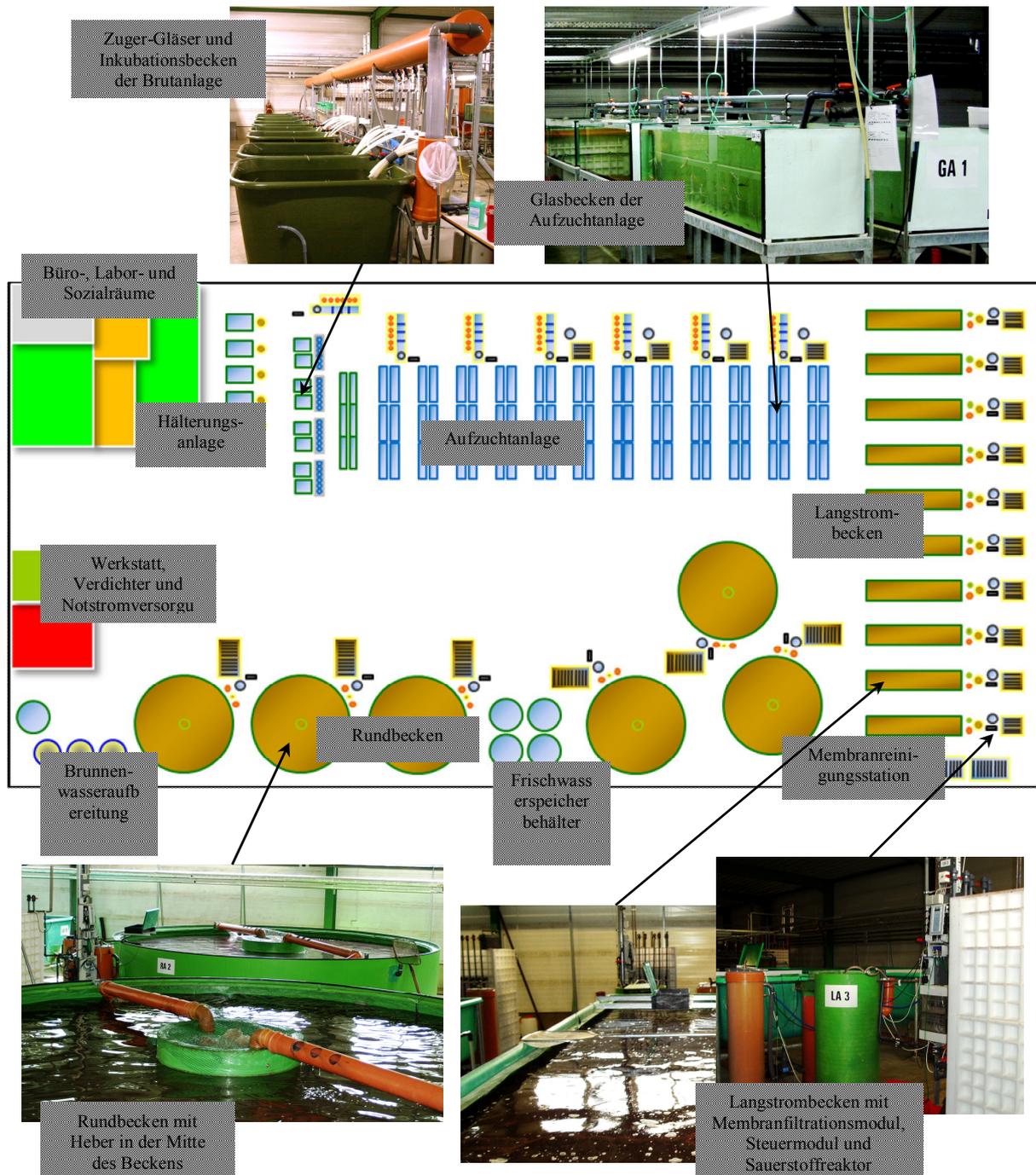


Abb. 2: Schematische Darstellung des Anlagendesigns der Fischzucht-Kreislaufanlage Thierbach sowie Aufnahmen ausgewählter Anlagenteile

3. ERFAHRUNGEN AUS LANGZEITVERSUCHEN UND DEM ROUTINEBETRIEB DER AQUAKULTUR-KREISLAUFANLAGE THIERBACH

Aquakultur-Anlagen, insbesondere nach dem Prinzip der geschlossenen Kreislaufanlage betriebene, bieten eine Vielzahl von Ansatzpunkten für verfahrenstechnische Entwicklungen. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang beispielsweise die bereits diskutierte Problematik der Wasserreinigung und -aufbereitung, die Realisierung des Gasaustausches (Kohlendioxidaus- und Sauerstoffeintrag) und auch die Umwälzung und Förderung großer Wassermengen. Einige Teilaspekte dieser Fragestellungen sollen im Folgenden am Beispiel der entsprechenden Entwicklungen und Erfahrungen aus dem Betrieb der Fischzuchtanlage Thierbach vorgestellt werden.

3.1. Einsatz von Membrantechnologie – Mikrofiltration für die Abtrennung von Überschussbiomasse und weitergehende Entwicklungen

Wie bereits erwähnt, hat sich die Membranmikrofiltration als Verfahren für die Abtrennung der anfallenden Überschussbiomasse bewährt. Getestet wurden verschiedene Membranen unterschiedlicher Hersteller (vgl. [GEMENDE ET AL., 2008] oder [GERBETH ET AL., 2009 A]). Zum Einsatz kommen derzeit Hohlfasermembranen des tschechischen Lieferanten ZENA s.r.o. (Typ HF PP-M6, nominelle Membranfläche ca. 5...10 m²/m³ Wasservolumen), die sich im Vergleichstest als insbesondere ökonomisch vorteilhafte Variante herausstellten.

Als Triebkraft des Prozesses dient ein sehr niedriger Transmembrandruck (0,05...0,07 bar), der lediglich auf dem hydrostatischen Druck der Wassersäule beruht. Das mit Bakterienbiomasse belastete Fischhaltungswasser gelangt über eine Pumpe in das Membranfiltrationsmodul, in dem an den einzelnen Hohlfasermembranen die Filtration erfolgt (Wasser permeiert in das Membraninnere, Feststoffe bleiben als Deckschicht auf den Membranen zurück). Das Permeat, welches frei von Partikeln und

Biomasse ist, wird in das Fischhaltungsbecken zurückgeführt, ein Teil des Retentates in regelmäßigen Abständen ausgekreist. Zur Kontrolle der Deckschichten und Versorgung der Mikroorganismen mit Sauerstoff dient eine Stoßbelüftung in regelmäßigen Intervallen.

Durch den Einsatz der Membranfiltration gelang es, die Biomassekonzentration im Becken auf Werte einzustellen, die einen stabilen Prozess, d. h. niedrige Ammonium- und Nitritkonzentrationen im Fischhaltungswasser, gewährleisten. Abb. 3 zeigt dazu beispielhaft Versuchsdaten aus dem Jahr 2009.

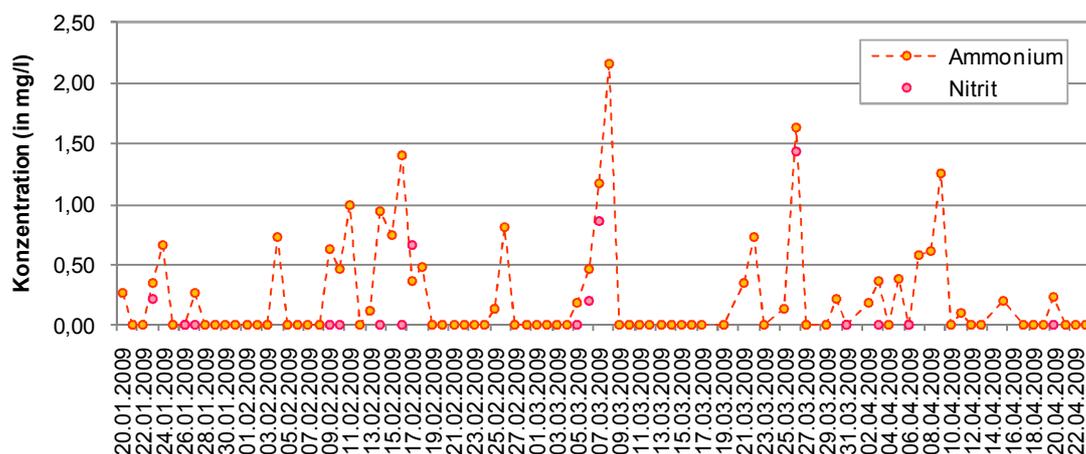


Abb. 3: Ammonium- und Nitrit-Konzentration im Langstrombecken Nr. 9 im Zeitraum vom 20.01.2009 bis 23.04.2009 mit einem Besatz von 220...250 kg Stör (Jungfische)

Eine Problematik des Einsatzes der Bakterienbiomasse direkt im Fischhaltungsbecken ist die damit verbundene hohe Trübe des Wassers, wodurch sich eine Einschränkung der Fischspezies auf solche mit höherer Toleranz gegenüber derartigen Bedingungen ergibt. Eine Alternative dazu stellt der Einsatz eines nachgeschalteten Membranbioreaktors (MBR) als Hochlastbiologiestufe dar. Dieser wird aktuell im Pilotmaßstab (nominelles Wasservolumen Fischbecken 1 m³) erprobt.

3.2. Varianten ressourcenschonender und energieeffizienter Technologien für die Realisierung des Sauerstoffeintrags und die Förderung großer Wasservolumina

Die beiden u. a. auch hinsichtlich des Energieverbrauchs bedeutendsten Verfahren im Betrieb einer Fischzucht-Kreislaufanlage mit hohen Besatzdichten sind zweifelsohne die Sicherstellung des effizienten Gasaustauschs (insbesondere Sauerstoffeintrags) sowie die Umwälzung großer Wasservolumina, zum Transport zu den Wasserreinigungs- und -aufbereitungsanlagen, zur Aufrechterhaltung der Zirkulation in den Becken (Gasaustausch, Vermeidung von Totzonen) etc.

Für den optimalen, ressourcenschonenden und energieeffizienten Sauerstoffeintrag wurde in den vergangenen Jahren ein modulares, flexibles und speziell auch an die Anforderungen einer Fischzucht-Kreislaufanlage (hinsichtlich Baugröße, Platzbedarf usw.) angepasstes System – basierend auf dem Prinzip der hydrodynamischen Begasung – entwickelt, erprobt und erfolgreich in den industriellen Dauerbetrieb überführt (siehe dazu auch [GERBETH ET AL., 2008], [GERBETH ET AL., 2009 B]).

Aktuelle Arbeiten konzentrieren sich u. a. auf die Kombination der Fragestellungen Gasaustausch und Förderung in einem Verfahren – dem Einsatz von so genannten Drucklufthebern (Airlifts). Hierbei sind die Entwicklungsziele, neben der Maximierung der Fördereffizienz (benötigter Luft- im Verhältnis zum geförderten Wasservolumenstrom), insbesondere auch die Verbesserung der praktischen Gebrauchseigenschaften – speziell hinsichtlich der Verschmutzungsneigung und Reinigbarkeit – der eingesetzten Systeme. Getestet wurden in diesem Zusammenhang unterschiedliche Lufteintragsvorrichtungen (beispielsweise unter Nutzung von Sinterkunststoffmaterialien) bei Variation der geometrischen Parameter (Durchmesser von Steigrohr, Luftzuleitung und -eintragsvorrichtung) sowie der sonstigen Randbedingungen (Eintauchtiefen, Förderhöhen). In Abb. 4 sind eine entsprechende Heberkonstruktion (Firma BIATEC) sowie ausgewählte Versuchsdaten zur Abhängigkeit der Fördereffizienz von der Förderhöhe dargestellt.

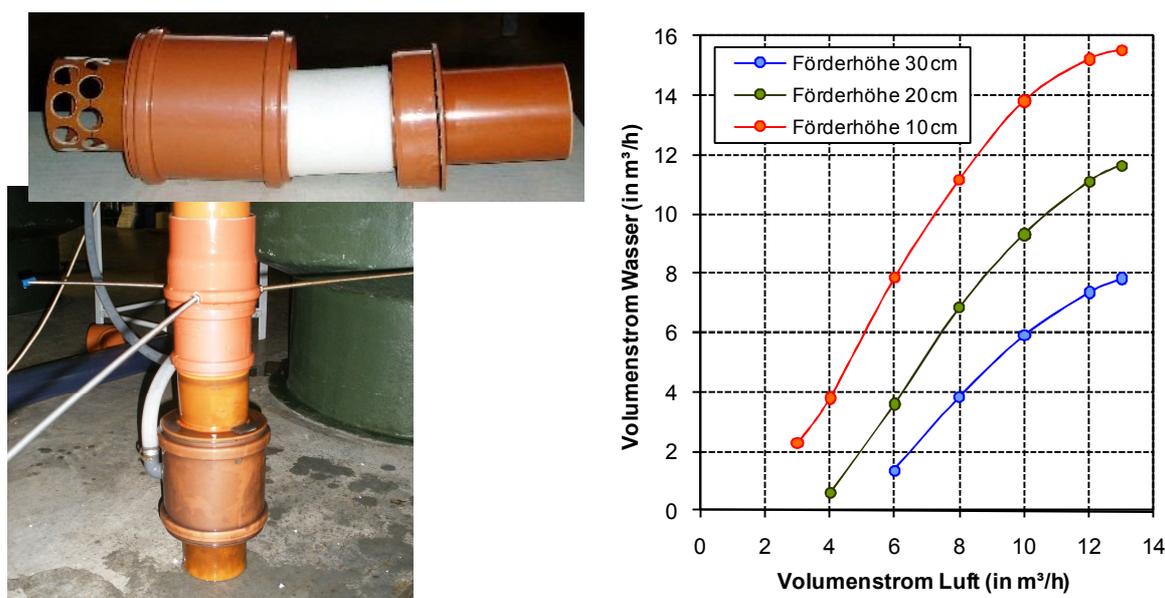


Abb. 4: Heber der Firma BIATEC – im Einsatzzustand (links unten) bzw. Detailaufnahme der Einzelteile (links oben) und Daten zur Fördereffizienz bei Variation der Förderhöhe (bei konstanter Eintauchtiefe von 80 cm) in Versuchen im halbtechnischen Maßstab (rechts)

4. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die moderne Aquakulturtechnik hat in den vergangenen Jahren enorm an Bedeutung gewonnen und ihre Bedeutung wird perspektivisch noch zunehmen. In den hochindustrialisierten Staaten Mitteleuropas, in denen zudem ein starkes Umweltbewusstsein auch beim Verbraucher zu verzeichnen ist, wird sich langfristig vor allem die Technik der geschlossenen Kreislaufanlagen durchsetzen. Diese

Intensive Programme “Renewable Energy Sources”

bieten sowohl ökologische (Verhinderung der Verschmutzung von natürlichen Gewässern durch nährstoffreiche Abwasserströme, klare Trennung von Zucht- und Wildpopulationen) als auch gewisse ökonomische Vorteile (die umfassende Kontrolle der vorliegenden Milieubedingungen erlaubt die Zucht von nicht-einheimischen Spezies mit hohem Wertschöpfungspotential).

Die in der vorliegenden Publikation zusammengefassten Erfahrungen und vorgestellten Entwicklungen aus dem Betrieb einer Fischzucht-Kreislaufanlage im sächsischen Raum zeigen die Vielzahl möglicher Ansatzpunkte für weitergehende Forschungsarbeiten auf. Neben den bereits angesprochenen sind dies u. a. Entwicklungen auf den Gebieten Optimierung der Futterzusammensetzung sowie dessen Herstellung, Möglichkeiten zur stofflichen und fermentativen Verwertung der anfallenden Überschussbiomassen etc.

Die Zusammenarbeit der Partner Busse GmbH, Fischwirtschaftsbetrieb Andreas von Bresinsky und der Westsächsischen Hochschule Zwickau sowie weiterer Partner aus Forschung und mittelständischer Industrie hat sich in den vergangenen Jahren positiv entwickelt und wird im Rahmen weiterer Kooperationsprojekte fortgesetzt.

5. DANKSAGUNG

Die vorgestellten Ergebnisse und Entwicklungen entstanden zum Großteil im Rahmen von Kooperationsvorhaben der o. g. Projektpartner und wurden gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Programme „PRO INNO“ und „ZIM“), das Bundesministerium für Bildung und Forschung (Programm „FHprofUnd“) sowie aus Mitteln des Freistaates Sachsen und der Europäischen Union. Daneben gilt der besondere Dank der Autoren den an den Projekten beteiligten engagierten Mitarbeitern der Partner sowie den studentischen Hilfskräften und Diplomanden.

6. LITERATUR

FOOD AND AGRICULTURE ORGANISATION OF THE UNITED NATIONS (FAO): The state of the world fisheries and aquaculture 2008. Statusbericht, Rom, 2009.

GEMENDE, B.; GERBETH, A.; PAUSCH, N.; VON BRESINSKY, A.: Tests for the application of membrane technology in a new method for intensive aquaculture. *Desalination* **224** (2008), 57-63.

GERBETH, A.; GEMENDE, B.; VON BRESINSKY, A.; BUSSE, R.-P.; LANGE, R.: Optimierung eines Verfahrens zum Sauerstoffeintrag für Anlagen der Fischintensivzucht. EU Sokrates Intensiv-Programm „Environmental Impacts of Power Industry“, Pernink, 19.-23.05.2008.

GERBETH, A.; GEMENDE, B.; PAUSCH, N.; SCHWIND, M.; VON BRESINSKY, A.; BUSSE, R.-P.: Long term experiences using microfiltration membranes for separation of bacterial biomass in recirculating aquaculture system. FILTECH 2009, Wiesbaden, 13.-15.10.2009 (a).

GERBETH, A.; GEMENDE, B.; VON BRESINSKY, A.; BELLMANN, G.; BUSSE, R.-P.: Resource-conserving and energy efficient method for oxygenation of water in recirculating aquaculture system. aquaculture europe 09, Trondheim, 14.-17.08.2009 (b).

HART, P. R.: WWF working towards a sustainable future of aquaculture. WWF Aquaculture Dialogues, 14.10.2009.

PAUSCH, N.; GEMENDE, B.; GERBETH, A.; BURKHARDT, C.; WESENBERG, T.; BELLMANN, G.; VON BRESINSKY, A.: Abtrennung von Bioschlamm aus der Fischzucht mittels Lamellenklärer und Membrantechnik zur Biogasgewinnung. EU Sokrates Intensiv-Programm „Distributed Power Generation Systems“, Pernink, 24.-26.05.2005.

PAUSCH, N.; GERBETH, A.; GEMENDE, B.; VEIT, M.; KEMBOLO, K.; VON BRESINSKY, A.; MÜLLER, R. H.: Untersuchungen zum Prozessverhalten eines neuen Verfahrens zur Wasserreinigung in der Intensivfischzucht. EU Sokrates Intensiv-Programm „Distributed Power Generation Systems“, Pernink, 23.-25.05.2006.

7. ADRESSEN DER AUTOREN

Dipl.-Ing. (FH) Anja Gerbeth, Prof. Dr.-Ing. Bernhard Gemende, Dipl.-Ing. (FH) Martin Schwind
Fakultät Physikalische Technik/Informatik

Intensive Programme “Renewable Energy Sources”

Westsächsische Hochschule Zwickau
Postfach 201037, D-08012 Zwickau
Telefon: +49-375/536-1787 (1501); Fax: 1503; E-Mail: bernhard.gemende@fh-zwickau.de

Andreas von Bresinsky
Fischwirtschaftsbetrieb Andreas von Bresinsky
Am Heiligen Holz 2, D-04552 Borna/OT Eula
Telefon: +49-3433/2451-22; Fax: +49-3433/2451-23; E-Mail: a.v.bresinsky@arcor.de

Dipl.-Ing. Ralf-Peter Busse
Busse GmbH
Zaucheweg 6, D-04316 Leipzig
Telefon: +49-341/65984-0; Fax: +49-341/65984-10; E-Mail: info@busse-gmbh.de