

Zur Entwicklung der Fischzucht in Kreislaufanlagen in Mecklenburg-Vorpommern

Teil 2 – Überprüfung innovativer Technik – geschlossene Kreislaufanlagen für die Aquakultur

Dr. Wolfgang Jansen, Hans-Joachim Jennerich und Carsten Kühn – LFA MV, Institut für Fischerei

Das Projekt „Überprüfung innovativer Technik – geschlossene Kreislaufanlagen für die Aquakultur“ wurde auf der Grundlage der VO (EG) Nr. 2792/1999 des Rates vom 17. Dezember 1999 und des operationellen Programmes FIAF 2000-2006 durch das Institut für Fischerei der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei MV im Zeitraum vom 1. Januar 2005 bis 31. Dezember 2008 durchgeführt und koordiniert.

Technisch/technologische, fischereibiologische und betriebswirtschaftliche Fragestellungen wurden mit dem Ziel einer effektiveren Ressourcennutzung bearbeitet, um sowohl den Forderungen nach Planungssicherheit für Kreislaufanlagen als auch den Forderungen des Umweltschutzes gerecht zu werden.

Hauptaufgabe des Komplexes **Brackwasserkreisläufe** waren Untersuchungen der Leistungsfähigkeit mechanischer und biologischer Filter in Kreislaufanlagen für die Fischzucht unter dem speziellen Einfluss von Brackwasser. In Abhängigkeit von Futtereinsatz, Fischbesatz und Dimensionierung erfolgte die Erfassung und Bestimmung der am Abbauprozess beteiligten Organismengruppen.

Im Komplex **Süßwasserkreisläufe** lag der Hauptschwerpunkt in einer deutlichen Senkung des spezifischen Wasserverbrauchs pro Tonne Fisch in der Lebendhaltung von Regenbogenforellen. In einer großtechnischen Experimentalanlage sollten unter produktionsnahen Bedingungen neue Verfahren ausprobiert und gleichzeitig ökonomische Parameter eines völlig neuen Prototyps einer Kaltwasserkreislaufanlage für Salmoniden analysiert werden.

Komplex Brackwasserkreisläufe (Versuchsanlage Born der LFA)

In den Jahren 2005 und 2006 wurden in der Versuchsanlage Born der LFA zwei neue experimentelle Brackwasserkreisläufe für die Fischhaltung installiert.

Diese Anlagensysteme sollten es unter den gegebenen Bedingungen ermöglichen, eine Vielzahl von unterschiedlichen Versuchsaufbauten und -abläufen unter relativ produktionsnahen Bedingungen im Rahmen der Fischhaltung zu realisieren.

Als Versuchsobjekt wurde eine Brackwasser tolerierende, robuste einheimische Fischart gesucht. Der Wels (*Silurus glanis* L.) gehört zur Familie der Echten Welse (Siluridae). Muus (1998) gibt eine durchschnittliche Länge von etwa 100 cm bei einem Durchschnittsgewicht von 10 kg an. Der Wels ist die größte einheimische Fischart unserer Binnengewässer. Allerdings ist er kein obligater Süßwasserfisch, sondern bewohnt auch Brackwasserregionen (z. B. im Schwarzen Meer). Da diese Art als frohwüchsig und wenig anspruchsvoll gegenüber der Wasserqualität gilt, wurde sie für den Besatz der Brackwasserversuchskreisläufe ausgewählt.

Der Besatz der Versuchskreisläufe mit Welssetzlingen (45 bzw. 60 g) erfolgte im September 2006. Bei einer Wassertemperatur von 24 °C und einem Salzgehalt von 3 bis 5 ‰ wurden die Fische 500 bzw. 600 Tage in den Kreisläufen gehalten. Handelsübliches Forellenfutter mit 42 % Rohprotein und 22 % Fett diente dabei als Futtermittel. Nach den ersten 250 Tagen wurden folgende Aufzuchtergebnisse erzielt:

Stückmassen:	1,72 bzw. 1,97 kg,
Zuwachsraten:	1,55 bzw. 1,41 %/d,
Futteraufwand:	0,6–0,8 kg/kg Zuwachs.

Danach verlangsamte sich das Wachstum deutlich und der Futteraufwand stieg auf über 2 kg/kg Zuwachs an. Da die Untersuchungen der mechanischen und biologischen Reinigungsstufen im Vordergrund standen, sind die Ergebnisse bezüglich Wachstum und Futtermittelwertung bis zu durchschnittlichen Stückmassen von ca. zwei Kilogramm noch steigerungsfähig.

Für eine erfolgreiche Fischzucht in Kreislaufanlagen kommt der kostengünstigen Wasseraufbereitung,

in erster Linie der biologischen Reinigung, eine zentrale Bedeutung zu.

Viele Wasseraufbereitungsmöglichkeiten wurden für eine erfolgreiche Fischhaltung aus der kommunalen und industriellen Abwasserreinigung übernommen, in der aerobe und anaerobe Reinigungsverfahren eine gleichgewichtige Rolle spielen. In Kreislaufanlagen für die Fischzucht besitzen vor allem aerobe Reini-



Abb. 5: Fließbettfilter mit Biomassepropfen



Abb. 6: Blick in einen Moving-Bed-Filter

gungsverfahren eine zentrale Funktion. Hierbei wird mittels mikrobieller Nitrifikation Ammonium, das über die Kiemen der Fische ausgeschieden wird, über Nitrit zum weniger schädlichen Nitrat umgewandelt. Laut OCHMANN (2004) kann dabei das Biofilmverfahren als derzeitiger Stand der Technik angesehen werden. Im Gegensatz zum Belebtschlammverfahren, bei dem die nicht gebundene Biomasse eine Nachklärung und Rückführung der Biomasse erfordert, ist beim Biofilmverfahren die Biomasse an Trägermaterial gebunden. Das gewährleistet eine kompakte Bauweise und es wird gesichert, dass die gebundene Biomasse den Reinigungsreaktor nicht verlässt. Daneben gestattet das Trägermaterial auch langsam wachsenden Mikroorganismen (Nitrifikanten) eine Besiedlung. Festbettreaktoren und frei bewegliche Aufwuchskörper stellen die zum überwiegenden Teil in Kreislaufanlagen genutzten Biofilter dar.

Nach MURDRACK UND KUNST (2003) sind die so genannten Festbettreaktoren Behälter, in denen das Biofilmträgermaterial fest eingebaut ist. Dabei werden folgende Ausführungsformen unterschieden:

Tropfkörper (Rieselfilter)

Das zu reinigende Produktionswasser wird über dem Reaktor mittels Drehsprenger verteilt und durchströmt den Filter von oben nach unten. Das Filtermaterial und damit der Biofilm (mikrobiologischer Aufwuchs) befinden sich in einem ständigen Wechsel von Gas- und Wasserphasen.

Getauchter Festbettreaktor

Das Filtermaterial ist getaucht und wird von oben nach unten durchströmt. Eine künstliche Belüftung ist erforderlich, um den aeroben Ansprüchen der Mikroorganismen zu entsprechen.

Es kann aber auch ein möglichst grobes Festbett sein, das von unten nach oben durchströmt wird. Höhere Substrat- und Sauerstoffgradienten sollen dabei für höhere Umsatzraten sorgen.

Biologische Filter mit frei beweglichen Aufwuchskörpern sind Fließbettfilter (Abb. 5). Zwangsbelüftete Fließbettfilter werden Moving-Bed-Filter (Abb. 6) genannt.

Fließbettfilter sind in den 80er und 90er Jahren vielfach in Aquakulturanlagen installiert worden. Sie bieten gegenüber Festbetten den theoretischen Vorteil, dass durch die ständige Bewegung des Füllmaterials

keine Biomassepfropfen („Mud-Ball“-Bildung) im Reaktor entstehen. Eine gesonderte Rückspülung kann somit entfallen. Bedingt durch die Scherkräfte zwischen den Körnern des Füllmaterials kommt es zu einem Biomasseabrieb, der weitgehend konstant eine geringe Biofilmdicke zur Folge hat. Überschüssige Biomasse wird durch die im Reaktor herrschende Strömung kontinuierlich ausgetragen. Fließbettreaktoren sind daher als selbstreinigende Systeme zu bezeichnen.

Ein Brackwasserkreislauf wurde 2006 mit einem Fließbettfilter in Betrieb genommen. Um zu überprüfen, ob es auch praktisch zu keiner Ausbildung von Biomassepfropfen kommt, wurde dieser Filter in durchsichtigem PMMA gefertigt. Des Weiteren wurden im Boden des Filters Düsen installiert, die es ermöglichen, ihn mittels Druckluft zu spülen. Ein zweiter Kreislauf wurde mit einem Moving-Bed-Filter ausgestattet.

Filtermaterial Fließbettfilter:

Kunststoffgranulat in Linsenform,
Höhe: 3-4 mm x 2,5 mm,
Gewicht: 550 kg/m³,
Dichte: ca. 0,98 g/cm³,
spez. Oberfläche: ca. 400 m²/m³,
Füllung: 0,3 m³.

Filtermaterial Moving-Bed-Filter:

2H BCN Füllkörper Typ 009,
Anzahl: 850.000/m³,
Gewicht: 165 kg/m³,
Dichte: ca. 0,95 g/cm³,
spez. Oberfläche: 634 m²/m³,
geschützte Aufwuchsfläche: ca. 480 m²/m³,
Füllung: 2,5 m³,
Belüftung: ca. 50 m³/h.

Der Fließbettfilter wurde mit maximal 11 kg Futter und Tag und der Moving-Bed-Filter mit maximal 20 kg/d bei Fischdichten von bis zu 230 kg/m³ (durchschnittlich 150 kg/m³) belastet. Die Wasserdurchflussrate je Kreislauf betrug 15 m³/h.

Ergebnisse der Tests mit dem Fließbettfilter:

Vorteil:

- sehr gute Stickstoffabbauraten

Nachteile:

- sehr hoher Energieaufwand
- keine Möglichkeit der Reduzierung der Durchflussmenge
- sehr hoher Wartungsaufwand, damit ständige Gefahr des Filterzusammenbruchs

- große Gefahr des Filtergranulatsaustrages, damit Gefährdung anderer Systemkomponenten
- kein Gasaustausch, damit Notwendigkeit einer nachgeschalteten Entgasung
- verstärkte Trübung und Färbung des Produktionswassers durch Biomasseabrieb und -zerreibung, damit Notwendigkeit der Wassernachbehandlung.

Ergebnisse der Tests mit dem Moving-Bed-Filter:

Vorteile:

- sehr gute Stickstoffabbauraten
- Reduzierung der Durchflussmenge und damit Anpassung an das System möglich
- praktisch wartungsfrei
- keine Gefahr eines plötzlichen Filterzusammenbruchs
- kein Filtergranulataustrag möglich
- messbarer Kohlendioxidaustrag, Notwendigkeit einer nachgeschalteten Entgasung entfällt,

Nachteil:

- zusätzlicher Ringverdichter notwendig.

Mit den genannten Fischdichten und Futtermengen wurde die Leistungsgrenze des Moving-Bed-Filters nicht erreicht.

Für die mikrobiellen Untersuchungen der Brackwasserversuchskreisläufe über Art und Zusammensetzung der mikrobiellen Lebensgemeinschaften des Kreislaufwassers und die Rolle, die sie im Reinigungsprozess übernehmen, konnten kompetente Partner gewonnen werden, die sich mit unterschiedlichen Methoden dieser Thematik widmeten. Ein Forschungspartner ist die Arbeitsgruppe von Prof. Dr. F. Schauer, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Fachbereich Biologie, Institut für Mikrobiologie und Molekularbiologie.

Untersuchungen zum Keimgehalt der einzelnen Kreislaufstufen sowie zum Grad der organischen und anorganischen Belastung des Produktionswassers erfolgten durch den Einsatz von Selektivmedien und der taxonomischen Charakterisierung von isolierten Mikroorganismen.

Ein weiterer Partner war die Fachhochschule Zittau/Görlitz, Fachgruppe Biotechnologie, Arbeitsgruppe Prof. Dr. W. Ramm und Arbeitsgruppe Prof. Dr. R. Schubert, die die Zusammensetzung und Dynamik der vorhandenen Mikroflora der Brackwasserversuchskreis-

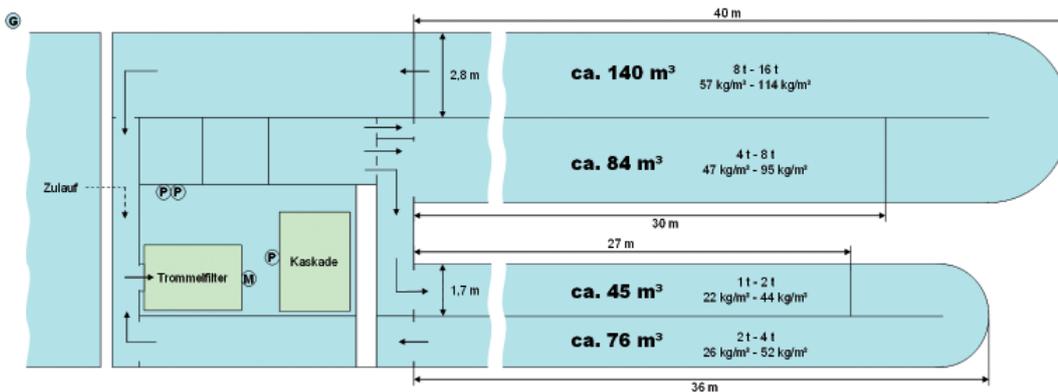


Abb. 7:
Darstellung
des Kaltwasser-
kreislaufes
Hohen Wangelin
mit den einzelnen
Produktionsstufen
in Kubikmeter

läufe durch eine kultivierungsunabhängige Methode, der Realtime-PCR untersuchten.

Ergebnisse dieser Arbeiten werden gesondert vorgestellt.

Komplex Süßwasserkreisläufe

(Experimentalanlage Hohen Wangelin der LFA)

In einem Wirtschaftsgebäude des Agrarunternehmens Müritzer Fleischproduktionsgesellschaft mbH Hohen Wangelin wurde eine Experimentalkreislaufanlage für Kaltwasserfische (vorrangig Salmoniden) auf der Basis von Brunnenwasser installiert. Von etwa 600 m³ Gesamtvolumen hat die Anlage in Form von verbundenen Langstrombecken mit unterschiedlicher Breite ein Produktionsvolumen von rund 350 m³ (Abb. 7).

Im Untersuchungszeitraum von 2006 bis 2008 wurden bei durchschnittlichen Wassertemperaturen von 13 °C (11 bis 15 °C) und pH-Werten von 6,8 in verschiedenen Abteilungen der Produktionsbecken Regenbogenforellensatzfische mit Startmassen von minimal 12,6 g zu Speiseforellen gestaffelt mit durchschnittlichen Stückmassen von 450 g aufgezogen. Die Satzfisher stammten aus einem Satzfisherbetrieb in Thüringen, der eine EU-zertifizierte Seuchenfreiheit garantieren kann. Die Produktionsentwicklung in der Experimentalanlage wird in der Abb. 8 dargestellt.

Nach einer Einführungsproduktion von rund 10 t im Jahr 2006 konnte im Jahr 2008 eine Produktionsgröße von 47 t erreicht werden. In Abb. 9 sind die Entwicklung des Fischbestandes (in Tonnen) und die dabei realisierte Haltungsdichte (in kg/m³) in der Experimentalanlage zu sehen.

Mit über 25 t Bestand und Haltungsdichten von über 70 kg/m³ wurden die Erwartungen (etwa 20 bis 22 t) deutlich übertroffen.

Bei der Fütterung wurde ein Hochleistungsfutter der Firma Emsland Aller Aqua eingesetzt, mit dem zeitweilig ein Futteraufwand von unter einem kg Futter pro kg Zuwachs erreicht werden konnte. Über den gesamten Produktionszeitraum lag dieser Umsatz im Durchschnitt zwischen 1,3 bis 1,4 kg/kg. Futterausfalltage durch notwendige Experimente, erforderliche Umbauten und verschiedene technische Probleme führten zu diesem Ergebnis.

Eine wesentliche Aufgabe im abgeschlossenen Projekt war die Nachweisführung, dass der Wasserverbrauch bei der Haltung von Regenbogenforellen auf 10 % des allgemein bekannten Technologiewertes (in m³ Wasser/t Fisch und Stunde) auch unter produktionsnahen Bedingungen abgesenkt werden kann. Nach Aussagen verschiedener Autoren (u.A. STEFFENS ET AL.; 1979; SCHRECKENBACH ET AL.; 1987) wird bei Aufzucht von Speiseforellen ein durchschnittlicher Wasserbedarf von 20–30 m³/t Fisch/h zu Grunde gelegt.

Während der Laborversuche konnte der Frischwasserverbrauch für die Fischhaltung auf unter 1 m³/t/h reduziert werden (JANSEN ET AL. 2007).

In der Zeit von Juni bis Dezember 2008 gelang es, diese Zielvorgabe auch unter produktionsnahen Bedingungen zu erreichen (Abb. 10). Bei einem Fischbestand von teilweise über 25 t Regenbogenforellen wurden zeitweise nur 600 bis 700 l Wasser pro t Lebendfisch und Stunde benötigt. Die Wasseraustauschrate der Experimentalanlage Hohen Wangelin lag somit bei etwas unter einem Wasserwechsel pro Tag. Der tägliche Futterumsatz betrug in dieser Zeit durchschnittlich 200 kg/d. Erhöhte Mortalitäten traten nicht auf; die Mortalitätsrate für das gesamte Jahr 2008 lag unter 4 %.

Auf die Entwicklung der N-Verbindungen in Abhängigkeit von der Produktionsgröße (Fischbestand und

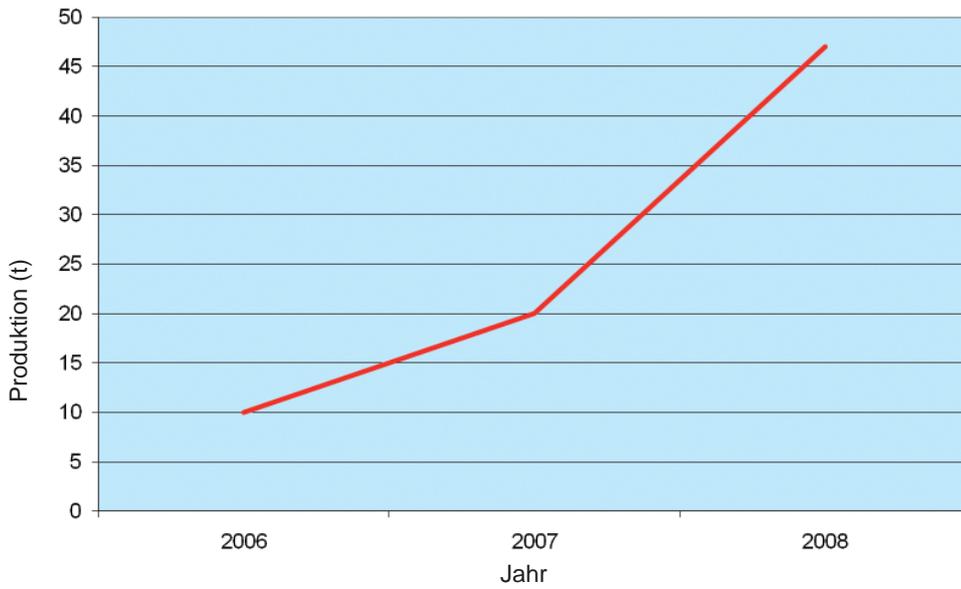


Abb. 8:
Entwicklung der Forellenproduktion in der Experimentalanlage Hohen Wangelin von 2006 bis 2008

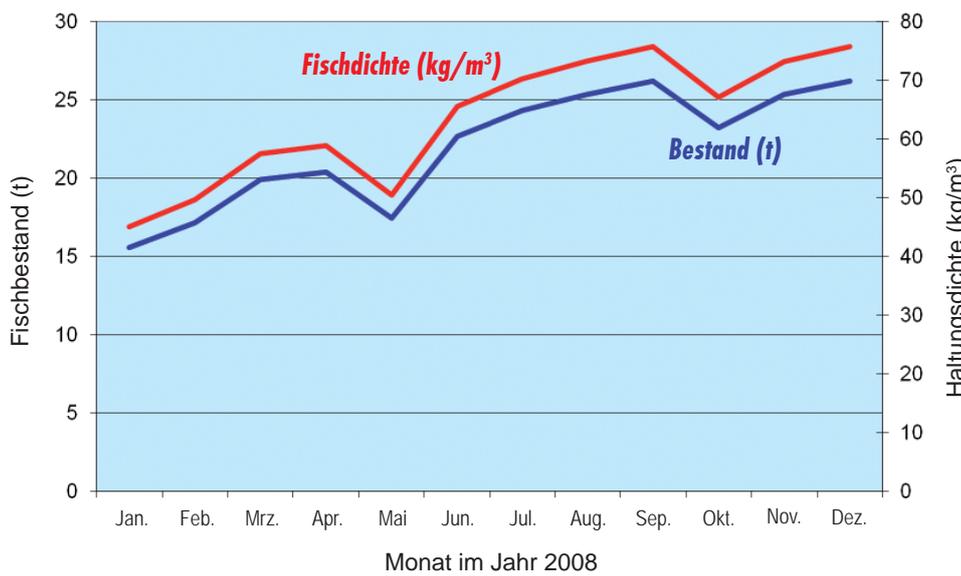


Abb. 9:
Die Entwicklung des Fischbestandes und der Haltungsdichte bei der Haltung von Regenbogenforellen in der Experimentalanlage Hohen Wangelin 2008

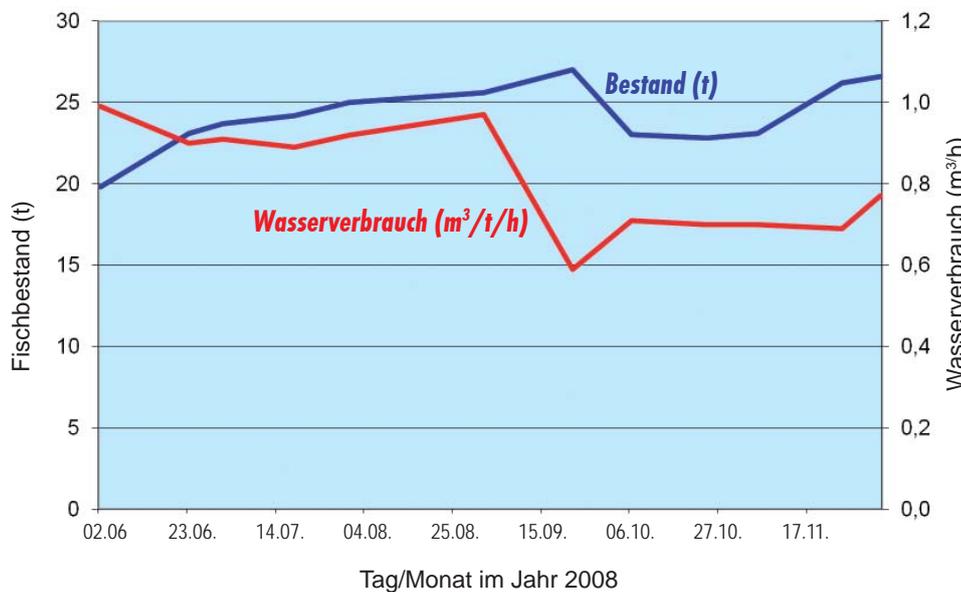


Abb. 10:
Die Entwicklung des Fischbestandes und des Wasserverbrauchs in der Experimentalanlage Hohen Wangelin von Juni bis Dezember 2008

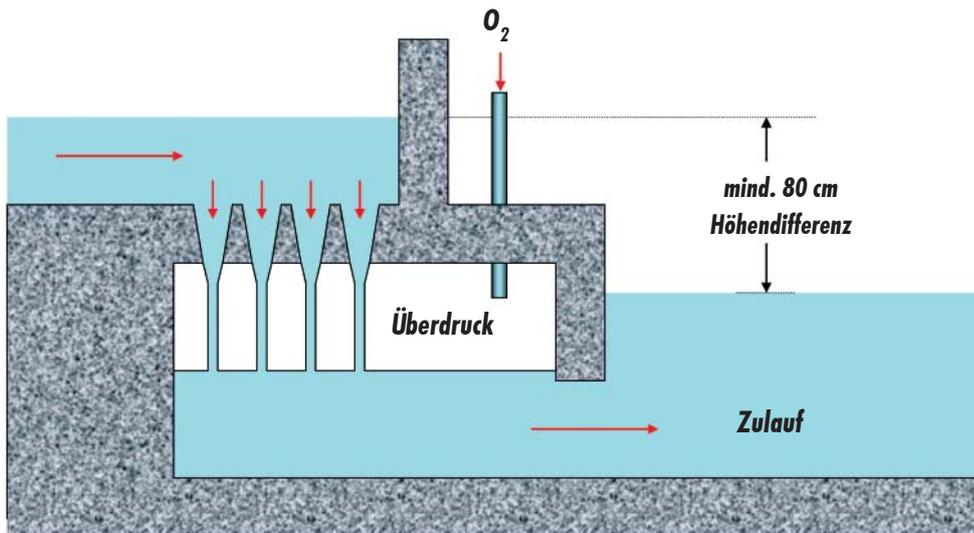


Abb. 11:
Funktionsweise eines
Jet-Systems für die
Sauerstoffanreicherung
(nach RÖSCH, 1999)

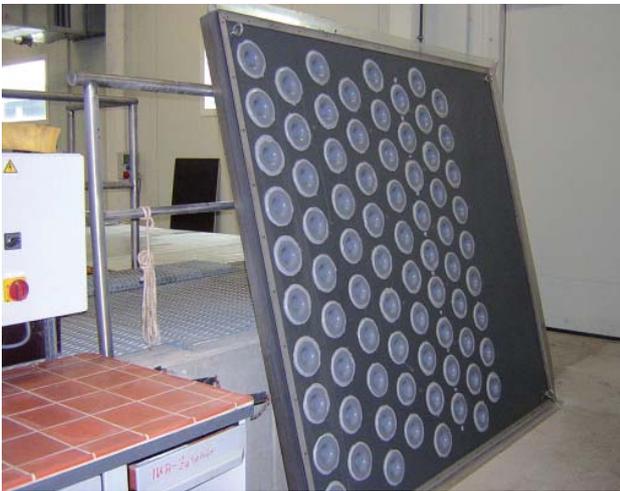


Abb. 12: Eine vorbereitete Platte mit Jet-Düsen vor dem Einbau in die Experimentalanlage Hohen Wangelin



Abb. 13: In die Kaskade der Kreislaufanlage Hohen Wangelin eingebaute Blockelemente mit mikrobiologischem Aufwuchs für die biologische Reinigung

Futtermenge je Tag) wird hier nicht näher eingegangen. Weitere Informationen zu diesem Problemkreis sind in Vorbereitung.

Entscheidend für den Erfolg einer Forellenhaltung ist die Absicherung des Wohlbefindens der Fische auch in hohen Dichten (wie oben dargestellt). Neben den zu beachtenden und genannten Parametern ist die ausreichende Versorgung der Fische mit Sauerstoff eine wesentliche Aufgabe. Ein optimaler Sauerstoffgehalt des Wassers führt bei den Fischen zu einer optimalen Futtermittelnutzung mit entsprechenden Wachstumsleistungen und hilft bei der Minimierung der Wasserbelastung während der Produktion. Die für die Fische verfügbare Sauerstoffmenge begrenzt allgemein eine Produktion und dabei vor allem die möglichen Haltungsdichten im Produktionsvolumen.

Im Vorfeld der Planungen für die Experimentalanlage Hohen Wangelin wurden eine Reihe verfügbarer technischer Systeme und Methoden für den Sauerstoffeintrag in das Produktionswasser des Kaltwasserkreislaufes überprüft. Es galt ein O_2 -Eintragungssystem zu finden, mit dem ein Fischbestand von 20 t mit ausreichendem Sauerstoff (rund $5 \text{ kg } O_2/\text{h}$ bzw. ca. $110 \text{ kg } O_2/\text{d}$) versorgt werden konnte. Moderne Regeltechniken, wie z. B. die verwendete O_2 -Steuerung von Hach Lange, sollten bei der Optimierung der Sauerstoffwerte (Sättigung im Ablauf) helfen und starke Schwankungen (z. B. während der täglichen Fütterung) minimieren. Für den Sauerstoffeintrag erwies sich das Jet-System (Abbildungen 11 und 12) als günstigste Lösung, um einen Fischbestand von 25 t und mehr mit notwendigem Sauerstoff zu versorgen.

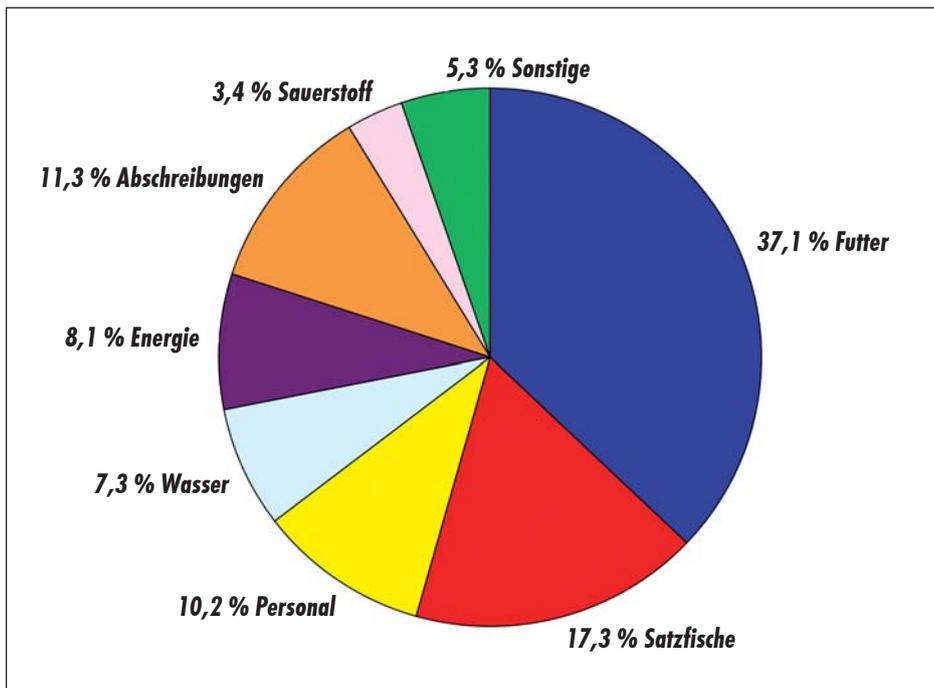


Abb. 14:
Der Anteil einzelner
Kostenelemente bei der
Forellenproduktion in
Hohen Wangelin

Bei einem durchschnittlichen Bedarf von 6 kg O₂ pro t Fisch und Tag war es mit dem Jet-System möglich, ohne Probleme mehr als 150 kg O₂ mit hoher Effektivität (über 90 %) in das Kreislaufwasser einzutragen.

Die mechanische Reinigung des Kreislaufwassers der Experimentalanlage erfolgte durch ein Trommelfilter der Firma Hydrotech (Schweden). Im Produktionszeitraum 2006 bis 2008 wurden dabei Gazen mit unterschiedlichen Maschenweiten (40, 60, 90 µm) ausprobiert.

Für die biologische Reinigung wurden Festbettreaktoren (Tauchtropfkörper) in die Kaskade des Kreislaufes eingebaut (Abb. 13). Die dabei verwendeten Blockelemente hatten eine Oberfläche von 240 m²/m³. Ihre Reinigungsleistung war für die durchgeführte Produktionsgröße ausreichend, jedoch nicht unproblematisch für den Versuchsablauf.

Bei der ökonomischen Bewertung der Produktionsversuche wurden besonders die Gesamtkosten und dabei der Anteil einzelner Kostenelemente im finanziellen Anteil je Tonne Forellenproduktion ermittelt (Abb. 14).

Für eine Produktionsgröße von 100 t sind danach für eine Tonne Jahresproduktion z. B. 942 EUR für Futter, 440 EUR für Satzfische, 288 EUR für Abschreibungen und 260 EUR für Personal erforderlich.

Die Gewinn-Verlust-Rechnungen wurden von der LMS Landwirtschaftsberatung für naturfarbene bzw. rotfleischige Regenbogenforellen und für Saiblinge kalkuliert. Einem möglichen Erlös (Großhandel) von 2,35 EUR pro Kilogramm für naturfarbene Forellen steht derzeit ein Kostenaufwand von 2,54 EUR gegenüber. Diese negative Bilanz in einer solchen Forellenproduktion könnte somit nur ein Erzeuger mit einer gut organisierten Vermarktung verbessern. Bereits eine erprobte Direktvermarktung von 10 % der Fischproduktion führt hierbei zu einem positiven Ergebnis. Die Produktion von rotfleischigen Forellen und von Saiblingen würde bei den Großhandelspreisen von 2008 und der gegenwärtigen Kostenstruktur zu einer erfolgreichen Fischproduktion führen.

Ein Literaturverzeichnis kann bei den Autoren angefordert werden.

