



**ARBEITEN
DES DEUTSCHEN FISCHEREI-VERBANDES e.V.**

Heft 86

2008

Ressourcen schonende Fischproduktion

herausgegeben von

**Dr. Mathias v. Lukowicz
Prof. Dr. Volker Hilge**

**Deutscher Fischerei-Verband e.V.
Venusberg 36 20459 Hamburg**

**ARBEITEN
DES DEUTSCHEN FISCHEREI-VERBANDES e.V.**

Heft 86

2008

Ressourcen schonende Fischproduktion

herausgegeben von

**Dr. Mathias v. Lukowicz
Prof. Dr. Volker Hilge**

ISSN 0415-6641

Deutscher Fischerei-Verband e.V.

Venusberg 36 20459 Hamburg

T 040-31 48 84 F 040-319 44 49

www.deutscher-fischerei-verband.de

ÖFFENTLICHE VORTRAGSVERANSTALTUNG

des Wissenschaftlichen Beirates und des Arbeits-
ausschusses für Gewässerschutz des Deutschen
Fischerei-Verbandes über

Ressourcen schonende Fischproduktion.

Saarbrücken, den 4. September 2008

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
	Vorwort	1
Dr. M. v. Lukowicz	Von der extensiven zur intensiven Fischproduktion – ein Überblick	3
Prof. Dr. V. Hilge	Zur Diskussion über den Begriff „Nachhaltige Aquakultur“ in der EU	23
Dr. G. Füllner	Karpfenteichwirtschaft – eine tradi- tionelle und Ressourcen schonende Form der Fischproduktion	37
A. Tautenhahn	Teilrezirkulation in der Forellenteich- wirtschaft – der Weg zu einer wirt- schaftlichen und umweltverträglichen Betriebsweise	57
Dr. H. Wedekind	Kreislauftechnologie: Was ist in Deutschland möglich?	79
Prof. Dr. C. Schulz	Möglichkeiten der integrierten Aquakultur in marinen Systemen	99
Dr. A. Brinker Dr. R. Rösch	Ein Ausweg aus dem Rohstoff- dilemma: Vegetarische Salmoniden?	119
Dr. F. Rümmler	Mechanisierung und Verfahrens- Technik als wichtige Elemente einer effektiven und Ressourcen schonende Fischproduktion	137
Dr. R. Reiter	Arbeitswirtschaft und Ressourcen- verwertung als Grundlagen der Ökonomie in der Forellenproduktion	183
T. Strubelt	Gelungene Beiträge des EU-Rechts?	195
	Anschriften der Referenten	203

Ressourcen schonende Fischproduktion

Vorwort

In nahezu allen Lebensbereichen muss es vorrangiges Ziel unserer Gesellschaft sein, natürliche Ressourcen zu schonen und sie möglichst nachhaltig zu nutzen. Aktuelle Verknüpfungen ergeben sich mit der biologischen Vielfalt der Lebensräume und Arten, dem Klimawandel, der landwirtschaftlichen Produktion und industriellen Herstellung von Verbrauchsgütern und dem Tourismus, um nur einige Schlüsselbereiche zu nennen.

Insbesondere aufgrund der steigenden Weltbevölkerung, aber auch der dichten Besiedelung in Europa, verbunden mit hohem Lebensstandard, werden global Wasser, fruchtbares Land und fossile Energie immer rarer und teurer. Die nachhaltige Nutzung dieser Ressourcen muss ökologisch vertretbar, ökonomisch Erfolg versprechend und sozial gerecht sein. Diese Grundsätze für die Bewirtschaftung der natürlichen Güter gelten auch für die Fischerei und die Fischproduktion.

Die diesjährige Thematik umfassend und differenziert darzustellen, verlangt, sowohl die verschiedenen für die Fischzucht benötigten und ihr zur Verfügung stehenden Ressourcen zu identifizieren, wie auch die Produktionsverfahren anzusprechen und im Hinblick auf

die Nachhaltigkeiten der Ressourcennutzung zu bewerten. Dabei war es nicht einfach, der Vortragveranstaltung eine durchgängige und übersichtliche Struktur zu geben, in der alle Aspekte abgedeckt sind. Es wurde daher versucht, die vielfältigen Bereiche so zu gliedern, dass die wichtigsten Schwerpunkte weitgehend abgedeckt sind. In den Vorträgen stehen entweder die Ressourcen oder die Verfahrenstechniken im Mittelpunkt der Betrachtung. Am Schluss wird die relevante Rechtsetzung der EU an einigen Beispielen dahingehend kritisch durchleuchtet, ob sie der Entwicklung der Fischzucht förderlich ist oder diese eher behindert.

Dr. Mathias v. Lukowicz
Vorsitzender des Wissenschaftlichen Beirats
des Deutschen Fischerei-Verbands

Prof. Dr. Volker Hilge
Vorsitzender des Arbeitsausschusses für Gewässerschutz
des Deutschen Fischerei-Verbands

Von der extensiven zur intensiven Fischproduktion

- ein Überblick -

Mathias v. Lukowicz

Zusammenfassung

Die Aufzucht von Fischen in Teichen ist ein sehr alter Nahrungserwerb. Um von den knapper werdenden natürlichen Ressourcen Wasser und Boden unabhängiger zu sein, entstanden im 20. Jahrhundert neben der herkömmlichen Teichwirtschaft intensive Formen der Aquakultur mit Süßwasserfischen. Dies war möglich durch die Entwicklung spezieller Haltungstechnologien und physiologisch vollwertiger Futtermittel, die die natürliche Nahrung vollständig ersetzen können.

Die Intensivhaltung von Fischen schließt verschiedene Durchlaufsysteme wie komplizierte Wasserkreislaufverfahren ein. Da Fische hierbei auf zum Teil sehr engem Raum und mit geringem Austausch von Frischwasser gehalten werden, müssen hohe technologische und hygienische Anforderungen erfüllt sein. Insbesondere Kreislaufanlagen sind mit großen technischen Risiken behaftet und verlangen umfangreiche fachliche Kenntnisse und Fertigkeiten des Betreibers. Die Wirtschaftlichkeit intensiver Fischproduktion ist schließlich von den Marktbedingungen abhängig, die einen langfristigen Absatz der erzeugten Fische zu kostendeckenden Preisen dauerhaft zulassen müssen.

Trotz bestehender Unsicherheiten ist das Potential der intensiven Fischproduktion weiter zu entwickeln, um durch sie zur Eiweißversorgung der Menschen beizutragen.

1. Definition des Begriffs „Aquakultur“

Der Begriff "Aquakultur" ist heute nicht mehr allein in der Fachliteratur zu finden, sondern taucht regelmäßig auch in Tagespresse, Rundfunk und Fernsehen auf. Er entstand mit der Entwicklung neuer, zunehmend technisierter Produktionssysteme aus traditionellen Formen der Fischhaltung. Dabei wird er oft fälschlich allein mit den modernen Intensivhaltungsmethoden gleichgesetzt. Diese Fehlinterpretation bedarf der Korrektur. Verschiedene, oft sehr subtile Definitionen des Begriffs „Aquakultur“ durch kompetente Wissenschaftler wie auch einschlägige Gremien versuchen die vielen Aspekte der Aquakultur zu integrieren. Kurz gefasst lässt sich wohl sagen: *Aquakultur ist die kontrollierte Produktion von Wasserorganismen.* Die Aquakultur schließt somit alle Systeme der gezielten und gesteuerten aquatischen Produktion ein, vom extensiv bewirtschafteten Naturteich bis zur hochintensiven Kreislaufanlage. Sie betrifft ferner sämtliche hierfür geeigneten Wasserorganismen, zu denen neben den Fischen auch Krebse, Weichtiere und sonstiges Getier sowie Pflanzen gehören.

Der Begriff „Aquakultur“ ist nach heutigem Verständnis weit ausgelegt. Der Überblick in diesem Beitrag bezieht sich auf die Haltung

von Süßwasserfischen in unseren Breiten, wobei das Hauptgewicht auf den neueren Entwicklungen der intensiven Fischerzeugung liegen soll.

2. Aquakultur früher und heute

Die Aquakultur nahm ihren Anfang wahrscheinlich mehrere hundert oder sogar über tausend Jahre v. Chr. in China und ist heute über die ganze Erde verbreitet. Lange Zeit wurden mit den Methoden der Fischhaltung, etwa der Teichwirtschaft, mehr oder minder die natürlichen Bedingungen der Fische nachgeahmt. Die ursprüngliche Absicht war lediglich, bestimmte Fischarten bevorzugt zu fördern und der produzierten Fische möglichst vollständig habhaft zu werden. Erst in neuerer Zeit wurden Hand in Hand mit dem technischen Fortschritt auf allen Gebieten auch in der Aquakultur grundlegend neue Methoden und Systeme konzipiert. In der **Tabelle** sind die derzeitigen Haltungssysteme zusammengestellt und verschiedenen Intensitätsstufen zugeordnet.

In der konventionellen Teichwirtschaft wird zwischen den beiden prinzipiell unterschiedlichen Richtungen Karpfenteichwirtschaft (Warmwasser) und Forellenteichwirtschaft (Kaltwasser) unterschieden. Neben den Hauptfischarten Karpfen und Regenbogenforelle werden sogenannte Beifische wie etwa Schleie, Hecht und Zander einerseits und Bachforelle, Bachsaibling und Äsche andererseits erzeugt. In der modernen Aquakultur spielen Aal und Wels eine

Intensitätsstufen der Fischproduktion

Hauptfischarten	konventionelle Teichwirtschaft		neuerer Haltungssysteme			
	Karpfen	Forelle	Karpfen, Forelle, Aal, Welse	Becken Silo	Becken Fließkanal	Becken
Fischhaltung	Erdteich	Erdteich	Erdteich Fließkanal	Netzgehege	Becken Fließkanal	Becken
Wassererneuerung im System	stehendes Wasser. kein oder geringer Zufluss	↳ ständiger Durchlauf	aus umgebendem Wasserkörper	ständig Durchlauf	Teilkreislauf mit Wasser- aufbereitung	Kreislauf mit Wasser- aufbereitung
Zusätzliche Sauerstoffversorgung	ev. Belüftung	ev. Belüftung	ev. Belüftung	ev. Belüftung	Belüftung od. O ₂ -Begasung	Belüftung od. O ₂ -Begasung
Ernährung	vollwertige Mischfuttermittel					
Besatzdichte kg/m ³ Volumen	0,02 – 0,12	0,1 – 0,8	5 - 50	20 - 50	50 - 150	50 - 200 ¹⁾ 20 - 80 ²⁾
Intensität	extensiv		intensiv		hochintensiv	

1) Besatzdichte in Fischbecken

2) Besatzdichte im Gesamtkreislauf

bedeutende, Stör und Zander u. a. eine zunehmende Rolle.

Eine extensive Fischhaltung, die sich auf die unmittelbare Bodenertragsnutzung gründet, gibt es eigentlich nur in der Karpfenteichwirtschaft. Die Beifütterung kohlenhydratreicher Futtermittel führt zur Ertragssteigerung dadurch, dass der Energiebedarf der Fische abgedeckt und das Eiweiß der im Teich gebildeten Naturnahrung allein für den Zuwachs von Muskelfleisch reserviert wird.

Ein echter Intensitätssprung erfolgt, wenn die Ernährung der Fische größtenteils oder vollständig von außen mit Mischfutter übernommen wird. Der Teich wird damit zum reinen Aufenthaltsraum für die Fische, der in erster Linie ihren Lebensansprüchen hinsichtlich der Wasserqualität genügen muss. Wegen der geringen Wassererneuerung muss sich der Karpfenteich auch bei erhöhter Besatzdichten von mehreren 1.000 kg Fisch/ha selbst reinigen können.

Die Verwendung von vollwertigen Mischfuttermitteln kennzeichnet alle weiteren intensiven Haltungsmethoden. Hierzu zählt in der herkömmlichen Teichwirtschaft die Produktion von Forellen in Erdteichen und Fließkanälen, die auf ständigen Wasserdurchfluss angewiesen ist. Der Fließkanal ist als Konstruktion zwar relativ neu, in seiner Funktion jedoch konventionell.

Eine weitere Produktionsform ist die Netzgehegehaltung von Fischen in Seen oder Flüssen. Sie ist abhängig von der Selbstreinigungsfähigkeit des umgebenden Wasserkörpers, mit dem ein regelmäßiger Wasseraustausch stattfindet. Die Produktion in durchströmten Becken oder Silos ist im Prinzip eine Weiterentwicklung der intensiven Forellenteichwirtschaft. Kleinere Einheiten können aber besser gegen Außeneinflüsse abgeschirmt und noch intensiver bewirtschaftet werden.

Bis zu dieser Entwicklungsstufe ist der Sauerstoffgehalt des Wassers ein begrenzender Faktor für die Intensität der Fischerzeugung. Er kann in konventionellen wie modernen Systemen durch Belüftung (Einblasen von Luft) bis zum jeweiligen temperaturabhängigen Luftsauerstoff-Sättigungswert verbessert werden. Die Sauerstoffbegasung schafft die Möglichkeit, in kurzer Zeit große Mengen an reinem O_2 ins Wasser einzutragen und dementsprechend den Fischbesatz zu erhöhen. Die limitierende Wirkung verlagert sich dadurch vom Sauerstoffgehalt auf die Anreicherung von Stoffwechselprodukten - vor allem des fischgiftigen Ammoniaks.

Die höchste Intensitätsstufe in der Fischproduktion ist dann erreicht, wenn das durch die Fischbecken fließende Wasser nicht verworfen, sondern ganz oder teilweise gereinigt und wieder verwendet wird. Hierzu bedarf es einer leistungsfähigen Wasseraufbereitungsanlage, die für eine stabile und auf Dauer fischverträgliche Qualität des im

Kreislauf geführten Wassers sorgt. Zwischen Teil- und Vollkreislauf wird danach unterschieden, ob mehr oder weniger als 5 – 20 % der Gesamtwassermenge im System am Tag ausgetauscht wird.

Die Produktionsintensität lässt sich durch die Besatzdichte (Fischmasse je Flächen- oder Volumeneinheit – siehe **Tabelle**) ausdrücken. Sie kann aber auch sinnvoller Weise mittels des Wasserverbrauchs in Liter pro Sekunde für die jährliche Produktion ($\text{kg} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{s} \cdot \text{a}^{-1}$) charakterisiert werden. Früher rechnete man mit einem Wasserbedarf von $1 \text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ für die Erzeugung von 50 kg Forellen. Aufgrund der heute zur Verfügung stehenden Futtermittel, der verbesserten Fütterungstechniken und optimierter Haltungstechnologien lassen sich mit derselben Wassermenge im Durchlauf 1.000 – 2.000 kg Forellen im Jahr aufziehen. Teilkreislaufanlagen mit mechanischer und biologischer Reinigung des Wassers erreichen die zehnfache Produktionsleistung bezogen auf das Zuflusswasser. Im Vollkreislauf erhöht sich die Fischproduktion noch einmal etwa um den Faktor 10. Die Besatzdichten in den Aufzuchtbecken können für afrikanische Welse dann sogar $300 - 400 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ betragen.

Die drei in der **Tabelle** dargestellten Intensitätsbereiche lassen sich zusammenfassend durch folgende ertragslimitierende Faktoren gegeneinander abgrenzen:

- extensiv:** **Ertragsfähigkeit des Teiches** - durch Düngung und Beifütterung zu verbessern
- intensiv:** **Wasserangebot nach Menge und Qualität** - letztere zu verbessern durch O₂-Zufuhr
- hochintensiv:** **Wasserqualität** - abhängig von Reinigungskapazität des Klärsystems

Die intensive und hochintensive Fischproduktion sind mit der Stallhaltung von Warmblütern vergleichbar. Der Unterschied liegt im Milieu. Das Wasser wird von den Ausscheidungen der Fische verschmutzt. Es muss zur Sauerstoffversorgung und zum Abtransport der Stoffwechselprodukte laufend erneuert werden, damit keine Selbstvergiftung eintritt. Um das Milieu konstant zu halten und den Ansprüchen der Fische anzupassen, sind zum Teil hohe technologische Aufwendungen erforderlich. Das trifft besonders für Wasserkreisläufe zu, die alle belastenden Stoffe mehr oder weniger im System verarbeiten müssen.

Der Besatz in den Fischbehältern intensiver und hochintensiver Produktionssysteme ist äußerst dicht. Mit steigender Intensität wächst natürlich das Risiko. Eine auch nur kurzfristige Unterbrechung der Wasserversorgung führt zur Katastrophe. Bereits eine geringe Verschlechterung der Wasserqualität kann eine ernste Schädigung der Fische, zumindest aber Produktionsrückschläge zur Folge haben.

3. Was spricht für die Intensivhaltung?

Es stellt sich die Frage, warum angesichts des hohen technologischen Aufwands und eines verhältnismäßig hohen technischen und ökonomischen Risikos die Intensivhaltung von Fischen in Forschung und Praxis zunehmend forciert wird. Zunächst ist festzustellen, dass die Fische vergleichsweise sehr gute Protein- und Energieverwerter sind und daher für eine intensive Erzeugung von Eiweiß für die menschliche Ernährung immer interessant sein werden. In Intensivhaltungssystemen lassen sich - was vor allem für Warmwasserfische wichtig ist - optimale Temperaturen einstellen. Dadurch verkürzt sich die Produktionszeit gegenüber natürlichen Verhältnissen, und die Futtermittelverwertung ist günstiger. Überhaupt ist die Umwelt in von der Natur abgekoppelten Haltungssystemen steuerbar.

Ein wesentlicher Grund für die Intensivhaltung von Fischen liegt auf der Hand: Wasser und Boden, die Grundlagen der herkömmlichen Teichwirtschaft, sind nur bedingt verfügbar und nicht vermehrbar. Die Wasserknappheit betrifft nicht nur den Zufluss, sondern auch den Vorfluter, der die abgeführten Schmutzfrachten aufnehmen und verarbeiten muss. Das gilt nicht für die Karpfenteichwirtschaft, die auf der Selbstreinigung der Teiche basiert, wohl aber für herkömmliche Forellenteiche und jede weitere Form von Durchlaufsystemen. Der Einsatz der Kreislauftechnik soll belastende Stoffe von den Vorflutern fernhalten.

In der modernen Aquakultur wird nicht zuletzt das Ziel verfolgt, intensive Fischproduktion möglichst unabhängig von natürlichen Standortbedingungen zu betreiben. Die Netzgehegehaltung ist ebenso wie die herkömmliche Teichwirtschaft stark an Grund und Boden bzw. an das Vorhandensein größerer Wasserkörper gebunden. Auf ihre Beschreibung wird hier verzichtet, da Netzgehege aus wasserwirtschaftlichen und wasserrechtlichen Gründen im Süßwasserbereich kaum noch irgendwo eingesetzt werden können. Die genannte Zielvorstellung lässt sich am ehesten durch die Haltung von Fischen in Becken- und Siloanlagen mit ständigem Wasserdurchfluss oder in Kreislaufanlagen mit Wasseraufbereitung verwirklichen.

4. Verfahren der modernen Aquakultur

4.1 Durchlaufanlagen

Wegen ihres hohen Wasserverbrauchs sind reine Durchlaufanlagen vor allem dort ökonomisch sinnvoll, wo Wasser und Energie kostenlos oder billig anfallen. Das ist in vielen Industriebetrieben, Molkereien oder Brauereien gegeben, die ihr Kühlwasser in einen Vorfluter einleiten. Das Abwasser kann, sofern es sauber genug ist, direkt durch Fischbecken geschickt werden. Die gewünschte Temperatur wird meistens durch vorheriges Vermischen mit kälterem Wasser eingestellt. Wenn das Abwasser für die Fischhaltung selbst nicht geeignet ist, lässt es sich immerhin zur Erwärmung etwa von Brunnenwasser mittels Wärmetauschern verwenden. Eine gewisse Menge an Fischwasser muss also in der Regel zur Verfügung stehen.

Auf alle Fälle spart die Nutzung der Abwärme Energie ein. Auch das aus den Fischbecken abfließende Wasser kann noch der Wärmerückgewinnung dienen. Das geschilderte Durchlaufverfahren ist die einfachste und zugleich risikoärmste Form der intensiven Fischhaltung - vorausgesetzt, dass eine kontinuierliche Wasserversorgung gesichert ist. Häufig wird von der Genehmigungsbehörde zur Auflage gemacht, das abfließende Wasser über Absetzbecken, Mikro-siebe oder eventuell Pflanzenkläranlagen mechanisch und auch bis zu einem gewissen Grad biologisch zu reinigen, bevor es in den Vorfluter eingeleitet wird.

Grundsätzlich sind Durchlaufanlagen für die Produktion einer Reihe von Wirtschaftsfischen geeignet. Bei den derzeitigen Marktpreisen ist es jedoch nicht rentabel, z. B. Speisekarpfen zu erzeugen. Die Haltung von Forellen, Aalen, Welsen und eventuell Satzkarpfen ist wirtschaftlich aussichtsreicher.

4.2 Kreislaufanlagen

Die größtmögliche Unabhängigkeit von einer ständigen Wasserzufuhr und damit von einem bestimmten Standort schaffen Warmwasseranlagen mit Vollkreislauf. Ihre technische Ausrüstung für eine zuverlässig fischverträgliche Konditionierung des Wassers ist anspruchsvoll, kompliziert und z. T. anfällig. Die Anlagen, die unter Dach stehen müssen, umfassen außer den Fischhaltungsbecken Bauteile für die Wasserreinigung wie Absetzbecken, mechanische

und biologische Filter und für den Wassertransport, also Pumpen und Leitungen. Weitere Einrichtungen dienen der Sauerstoffversorgung, der pH-Regulierung, der Denitrifikation, der Ozonisierung und der Desinfektion u. a. Die Funktionsfähigkeit der einzelnen Komponenten wird elektronisch gesteuert und automatisch analytisch überwacht. Ein Alarmsystem meldet außerhalb der Norm liegende Zustände und Notfälle.

Kreislaufanlagen erfordern hohe Investitions- und Betriebskosten, insbesondere wenn keine Betriebsgebäude und keine externen kostenlosen Energiequellen vorhanden sind. Aus ökonomischen Gründen kommen unter den einheimischen Warmwasserrischen allenfalls Aal, Flusswels und Zander mit ihren hohen Marktpreisen für die Produktion in solchen Anlagen in Betracht. Darüber hinaus gilt das Interesse vorzugsweise den bezüglich der Wasserqualität genügsamen afrikanischen Welsen sowie Störarten für die Kaviar- und auch Fleischproduktion.

Forellen werden zunehmend in Teilkreislaufanlagen im Außenbereich erzeugt. Bautechnisch handelt es sich in der Regel um Fließkanalanlagen, in die spezielle Absetzvorrichtungen sowie mechanische und biologische Filter integriert sind. Das Wasser wird dadurch bereits während des mehrfachen Umlaufs durch die hintereinander geschalteten Haltungseinheiten gereinigt. Eine weitere Behandlung erfolgt vor dem Einleiten des Ablaufwassers in den Vor-

fluter. Diese Form der Rezirkulation soll trotz Produktionssteigerung Wasser sparen und die Umwelt weniger belasten. Teilkreislaufanlagen müssen mit leistungsfähigen Pumpen und Geräten zur Belüftung bzw. zur Sauerstoffbegasung ausgestattet sein. Es fallen daher hohe Energiekosten an. Da die Strompreise in den Forellen produzierenden Ländern sehr unterschiedlich sind, können sie die Konkurrenzfähigkeit der jeweiligen Betriebe entscheidend beeinflussen.

5. Probleme und Risiken

Die anfänglich hochgeschraubten Erwartungen in die Intensivhaltung von Fischen sind einer deutlichen Zurückhaltung auf Seiten der Praxis gewichen. In den letzten etwa drei Jahrzehnten wurden sehr verschiedene Verfahren und Systeme von Kreislaufanlagen auf den Markt gebracht und dabei auch fachlichen Laien als einfache und erfolgssichere Möglichkeit angedient, Fische ohne größere Vorkenntnisse zu produzieren. Die meisten Anlagen mussten innerhalb weniger Jahre wieder schließen, da sie technisch nicht zuverlässig arbeiteten oder die Betreiber von völlig unrealistischen ökonomischen Vorstellungen ausgegangen waren. Folgende Punkte stellten sich als besonders kritisch heraus:

Technische Funktionsfähigkeit und Sicherheit

Die Reinigungsleistung der Wasseraufbereitung genügte oft nicht den Ansprüchen der Fische an die Wasserqualität, zumindest nicht auf Dauer. Es gelang zwar, das fischgiftige Ammoniak aus dem

Kreislauf zu eliminieren, so dass dieser einige Wochen oder auch Monate arbeitete. Im Laufe der Produktion kam es jedoch zur Akkumulation biologisch schwer oder gar nicht aufschließbarer Eiweißprodukte. Die Fische stellten irgendwann die Nahrungsaufnahme ein, und es traten Verluste auf. Die Verschlechterung der Wasserqualität machte einen regelmäßigen Wasseraustausch notwendig, wonach sich die biologischen Stufen von neuem aufbauen mussten. Der oft erforderliche stetige Wasserzusatz verteuerte den Betrieb. Die technischen „Kinderkrankheiten“ scheinen inzwischen weitgehend überwunden zu sein. Der Aufwand für Kontrolle und dauerhafte Sicherheit des Anlagenbetriebs ist aber nach wie vor hoch.

Eignung von Futtermitteln

Die Entwicklung ernährungsphysiologisch optimaler Futtermittel für Fische hat in letzter Zeit große Fortschritte gemacht, auch wenn noch nicht alle Fragen der unterschiedlichen Ansprüche verschiedener Fischarten und Altersklassen geklärt sind. Die Herstellung der Futtermittel ist stark abhängig von der Verfügbarkeit wichtiger Rohstoffe, vor allem des Fischmehls als Eiweißlieferant. Die Qualität dieser natürlichen Grundstoffe wechselt und zwingt dazu, die Zusammensetzung des Fischfutters laufend entsprechend anzupassen. Ein Schwachpunkt bedeutet der Gehalt an Antioxidantien, die dem Fischmehl zur Fettstabilisierung beigemischt sind. Sie können die Tätigkeit von Mikroorganismen beeinträchtigen und somit das

ohnehin äußerst empfindliche biochemische Gleichgewicht der Oxidationsstufe stören. Da die Futtermittel nicht nur für die Wachstumsleistung der Fische, ihren Gesundheitszustand und ihre Fleischqualität von ausschlaggebender Bedeutung sind, sondern auch die Reinigungsleistung des Kreislaufsystems beeinflussen, müssen sie verschiedenartigen Ansprüchen genügen. Sie sind also in vieler Hinsicht ein entscheidender Kostenfaktor; denn gute Futtermittel sind auch teuer.

Krankheiten

In allen Intensivhaltungssystemen stellen Krankheiten eine große Gefahr dar. Bei dem dichten Fischbesatz sind Infektionen und Parasitosen schwer zu beherrschen und können hohe Ausfälle zur Folge haben. In Kreislaufanlagen verbietet sich eine Behandlung der Fische, wenn die eingesetzten Medikamente oder Desinfektionsmittel die Bakterienflora des Reinigungsteils schädigen. Die Einschleppung von Krankheitserregern oder Parasiten kann die vollständige Stilllegung und eine Generalsanierung einer Anlage zur Folge haben. Biologische Filter müssen anschließend wieder neu angefahren werden.

Satzfische

Die zuverlässige Versorgung von Intensivhaltungsanlagen mit Satzfishen ist eine Grundvoraussetzung für einen reibungslosen Betrieb und die Wirtschaftlichkeit. Satzfische der gewünschten Art und

Größe müssen in ausreichender Menge zum geeigneten Zeitpunkt bezogen werden können, und das über einen langen Zeitraum aus einer sicheren Quelle. Ihr Gesundheitszustand muss absolut einwandfrei sein. Konditionsschwache Fische erbringen keine zufriedenstellende Leistung unter Intensivbedingungen.

Auch in züchterischer Hinsicht sind noch viele Fragen offen. Die genetische Forschung ist im Bereich der Fischzucht bei weitem nicht so fortgeschritten wie bei anderen Haustieren. Es fehlen Arten und Rassen, die speziell an die Intensivhaltung angepasst sind und gleichzeitig wirklich gute Marktchancen haben.

Fachliche Kompetenz des Betreibers

In vielen Fällen resultierten Misserfolge in der Kreislaufhaltung von Fischen auch aus der mangelnden fachlichen Eignung von Betriebsleitern. Als Quereinsteiger ohne eigene Erfahrungen in der Fischzucht verließen sie sich weitgehend auf die Angaben der jeweiligen Anlagenhersteller, die z. T. bezüglich technischer Handhabung und wirtschaftlicher Kalkulation auch noch unzureichend oder gar irreführend waren. Die erfolgreiche Fischproduktion in Intensivanlagen stellt aber hohe Anforderungen und verlangt umfassende Kenntnisse in der Fischzucht, technische Fähigkeiten und ökonomischen Sachverstand.

Wirtschaftlichkeit

Der letztlich alles entscheidender Punkt ist die Wirtschaftlichkeit, die sowohl unter dem technologischen Aufwand wie unter dem großen Risiko leidet. In diesem Zusammenhang macht sich auch die Auslandskonkurrenz auf dem deutschen Fischmarkt nachteilig bemerkbar. Die verhältnismäßig niedrigen Erzeugerpreise fast aller Süßwasserfische können keine hohen Gestehungskosten auffangen. Es ist daher nicht verwunderlich, dass in der Bundesrepublik Deutschland nicht gerade viele Kreislaufanlagen bekannt geworden sind, die nachweislich mit Gewinn arbeiten.

Weitere Schwierigkeiten können sich aus den Anforderungen des Marktes ergeben, der die produzierten Fischarten und –mengen aufnehmen muss. Intensive Fischproduktion lohnt sich oft nur, wenn ständig große Mengen erzeugt werden, die kontinuierlich abfließen müssen. Dies ist bei noch nicht auf breiter Ebene eingeführten Fischarten wie z. B. Afrikanischen Welsen, die sich andererseits am ehesten kostengünstig erzeugen lassen, unter Umständen sehr problematisch. Eine intensive Fischproduktion ist von vornherein wirtschaftlich zum Scheitern verurteilt, wenn der langfristige Absatz zu Kosten deckenden Preisen nicht sichergestellt werden kann. Die verlässliche Einschätzung der Marktchancen steht am Anfang einer erfolgreichen Fischproduktion in Intensivhaltungsanlagen.

6. Zukunftsperspektiven

Es ist momentan nicht abzusehen, wie schnell und wie weit sich die Produktion aus der Aquakultur durch Einführung und Weiterentwicklung moderner Haltungsverfahren steigern lässt. Nach dem derzeitigen Kenntnisstand zeichnen sich für die Erzeugung von Süßwasserfischen in der Bundesrepublik Deutschland insgesamt folgende Tendenzen ab:

- Die Ausdehnung der Teichwirtschaft ist wegen des knappen Angebots an Land und Wasser nur in beschränktem Maß möglich.
- Ebenso stößt die Einrichtung von Netzgehegen aus ökologischen und wasserwirtschaftlichen Gründen an sehr enge Grenzen.
- Intensiv bewirtschaftete Durchlaufanlagen im aus Industrie- und landwirtschaftlichen Verarbeitungsbetrieben ablaufenden Wasser bieten in einzelnen Fällen gute Chancen.
- Das realistische Potential für den Einsatz der Kreislauf- und Teilkreislauftechnologie ist nur bedingt überschaubar. Auch hier kann die Koppelung mit anderen, Energie liefernden Unternehmen, beispielsweise Biogasanlagen oder die Kombination mit speziellen pflanzlichen Kulturen Erfolg versprechend sein.

Zweifellos sind in der Aquakultur in jüngster Zeit beachtliche Fortschritte erzielt worden. Es ist jedoch noch umfangreiche Forschungsarbeit zu leisten, um die vielen anstehenden Probleme zu lösen. Trotz aller Einschränkungen und berechtigter Skepsis im Hinblick auf moderne Aquakulturmethoden lohnt es, die Entwicklung und den Ausbau dieses Sektors mit Nachdruck weiter zu verfolgen, da er bei nicht ausreichenden natürlichen Ressourcen für die herkömmliche Form der menschlichen Ernährung einen Beitrag zur Versorgung der Weltbevölkerung mit tierischem Eiweiß leisten kann.

Zur Diskussion über den Begriff „Nachhaltige Aquakultur“ in der EU

Volker Hilge

Zusammenfassung

Seit einigen Jahren haben eine Reihe von Schlagworten in die Berichte über die Aquakultur Eingang gefunden wie Zertifizierung, Standards, Umweltauswirkungen, Verbrauchervertrauen, Umweltverträglichkeit, Rückverfolgbarkeit und natürlich Nachhaltigkeit. Sie bestimmen zunehmend die öffentliche Diskussion und können nicht einfach negiert werden, denn sie zwingen die Betroffenen – Produzenten, Zulieferer, Verarbeiter, Handel – zu Fragen Stellung zu nehmen, die die Art und Weise der Produktion und die Qualität ihrer Produkte betreffen. Dies ist durchaus legitim und es richtig, diese Fragen ernst zu nehmen. Auf einem anderen Blatt steht, ob es sich in diesem Zusammenhang immer um faire Forderungen und korrekte Unterrichtung der Öffentlichkeit von Seiten Dritter handelt. Teilweise wird die Aquakultur mit unfairen Mitteln angegangen. Dieses Problem ist inzwischen auch bei der EU angekommen, die mit dem Consensus – Projekt eine Plattform für eine nachhaltige Aquakultur in Europa geschaffen hat. Doch damit einher geht das Problem der korrekten Informierung, da mit vergrößernden Verallgemeinerungen gearbeitet wird. Die Aquakultur gibt es nämlich nicht. Die Feststellung, dass die Nachfrage nach aquatischen Organismen für die Ernährung steigt, die Versorgung aus der Fangfischerei stagniert oder

zurück geht und die Aquakulturproduktion rapide zunimmt, stimmt, zumindest was das letztere betrifft, so einfach nicht. Daher ist es sinnvoll die verschiedenen Produktionen getrennt zu betrachten und zu bewerten. Letztendlich ist es das Ziel des Consensus-Projektes die Verbraucher mit den Vorzügen der hohen Qualität der Aquakulturprodukte, ihrer Sicherheit und ihrem hohen Nährwert vertraut zu machen und zugleich die nachhaltige Weise ihrer Herstellung zu unterstreichen, um Vertrauen und Unterstützung aller Betroffenen zu gewinnen.

Einleitung

Betrachten wir die Entwicklung der internationalen Aquakultur in den vergangenen vier Jahrzehnten so stellen wir eine stürmische Entwicklung fest. Von Mitte der 60er Jahre bis 2006 stieg die Aquakulturproduktion nach Angaben der FAO (2008) von 2,5 Mio. t auf über 65 Mio. t.

Allerdings ist diese undifferenzierte Aussage nicht sehr erhellend, sondern wir müssen uns auch fragen, wo primär diese Entwicklung stattgefunden hat. Ein weiterer Blick in die Statistiken belehrt uns, dass über 90 % dieser Produktion aus dem asiatisch-pazifischen Raum stammt. Europa und Amerika dagegen sind mit mageren 3,2 % bzw. 3,3 % an der Gesamtproduktion beteiligt. Von Sturm oder Aufbruch kann daher zumindest in Europa keine Rede sein. Dies wissen wir aus unserem eigenen Land nur zu gut. Die auf der

Aquakulturkonferenz in Kyoto 1976 geforderte angemessene Unterstützung von Politik und Administration zur Entwicklung der Aquakultur hat zumindest auf unserem Kontinent bisher kaum stattgefunden. Politisch wurden andere Prioritäten gesetzt. Anmerken darf man hier, dass nunmehr wohl einiges in Bewegung geraten ist. Die USA entwickeln z. B. ein umfassendes Programm zur Förderung der marinen Aquakultur, einige südamerikanische Staaten wie Chile, Brasilien oder Mexiko melden eine sprunghaft ansteigende Produktion kultivierter aquatischer Organismen. Und die EU-Kommission entwickelt seit 2003 eine Fischereipolitik, in der der Aquakultur eine wichtigere Rolle zukommen soll als in der Vergangenheit. Von dieser „neuen“ Aquakultur, für die aber eine genauere Definition fehlt, wird dann Nachhaltigkeit erwartet, die mit allerlei flankierenden Maßnahmen erreicht werden soll. Das Projekt Consensus ist solch ein Beitrag.

Ich werde hier keine Diskussion des Begriffs Nachhaltigkeit beginnen. Dazu gibt es genug Definitionen. Aber eine Anmerkung sei doch erlaubt:

Seit der Konferenz von Rio (1992) hat sich weitgehend durchgesetzt, dass der Begriff der Nachhaltigkeit nicht nur eine ökologische, sondern auch eine ökonomische und eine soziale Dimension hat. Die Entwicklung dieses Zieldreiecks ist ein großer Fortschritt. Er verdeutlicht, dass man zwischen verschiedenen konkurrierenden

Zielen abwägen muss. Dennoch bleibt der Begriff der Nachhaltigkeit unscharf, denn die Vorstellungen was ökologisch und was sozial ist, gehen weit auseinander. Was nachhaltig ist, unterliegt daher weitgehend einem subjektiven Urteil (vgl. v. Alvensleben 2000).

Begleitmusik

Die Entwicklung der Aquakultur ist in den vergangenen Jahrzehnten immer wieder von einer mehr oder weniger schrillen Begleitmusik kommentiert worden. Die kam meist, aber leider nicht nur von außen. Die regelmäßig von bestimmter Seite artikulierten Vorwürfe - häufig falsch oder überzeichnet - der Umweltverschmutzung, des Gebrauchs von Hormonen im Futter, von Chemikalien, der Schadstoffbelastung haben ihren Weg über Multiplikatoren in die Öffentlichkeit gefunden, d. h. zum Konsumenten und ihn verunsichert. Ich erinnere hier an den „Einkaufshelfer“ der Verbraucherschutzzentralen Bremen und Hamburg, das Schlagwort Turbolachs für eine normale, züchterisch bearbeitete Fischart oder das vermutlich demnächst erscheinende „Red Grade“-Bewertungsschema von Greenpeace für eine aus deren Sicht „nachhaltige“ Aquakultur. Daneben haben wir es auch mit Ansichten von Kollegen zu tun wie in einem nicht differenzierenden, sondern eher diffamierenden „Nature“-Artikel über die „downside of aquaculture“, wozu anzumerken ist, dass „Nature“ eine richtigstellende Gegendarstellung von 30 Wissenschaftlern mit fadenscheinigen Begründungen abgelehnt hat. Es gäbe noch eine Reihe weiterer Beispiele aufzuzählen. Zu unter-

streichen sind in diesem Zusammenhang aber auch die Bemühungen von Betroffenen Verhaltensmaßregeln zu entwickeln, die „Code of Conduct“ (FAO) oder „Best aquaculture Practice“ (GAA) oder auch „Ordnungsgemäße Teichbewirtschaftung“ heißen können. Ihnen allen ist etwas gemein: Sie sind für die Praxis und die Verwaltung bestimmt, erreichen aber nicht die Öffentlichkeit. Dabei muss es im ureigensten Interesse der Produzenten liegen gerade diese zu informieren.

Ziele

Wenn eine Industrie sich so schnell entwickelt wie die Aquakultur, dann ist es unvermeidlich, dass Probleme dabei entstehen. Auch solche, die die Nachhaltigkeit der Branche betreffen. Daher wurde im Rahmen des 6. Forschungsrahmenplans der EU die Consensus Plattform mit dem speziellen Ziel geschaffen, die Vorzüge eines hochwertigen, sicheren und nahrhaften Aquakulturproduktes herauszustellen, das unter Bedingungen erzeugt wird, die mit dem zugegebenermaßen unterschiedlich verstandenen Begriff Nachhaltigkeit umschrieben werden können. Dies macht Spezifizierungen notwendig. Aber nicht nur das soll gezeigt werden, sondern es muss das weitere Ziel sein, das Vertrauen und die Unterstützung aller Beteiligten, und insbesondere der Verbraucher zu erringen. Das geht nur auf dem Wege der Information und des Dialoges. Aus diesem Grunde erschien es sinnvoll, den Verbraucher über entsprechende Organisationen mit in das Projekt einzubeziehen. Das

Europäische Büro der Verbraucherorganisationen BEUC (Bureau Européen des Unions de Consommateurs) ist daher von Anfang an bei dieser Plattform mit dabei.

Aus vier Elementen setzt sich Consensus zusammen:

- Entwicklung von Protokollen für eine Aufzucht von Fisch mit geringen Auswirkungen auf die Umwelt und zugleich hoher Wettbewerbsfähigkeit,
- Weitergabe dieser Protokolle an die Praxis, die Öffentlichkeit und sonstige Betroffene,
- Anwendung der Verfahren,
- Vorbereitung eines europäischen Nachhaltigkeitsstandards in der Aquakultur (eventuell?)

Stand der Diskussion

Die folgenden Nachhaltigkeitsthemen wurden in Arbeitsgruppensitzungen identifiziert und Indikatoren dafür entwickelt:

- ökonomische Lebensfähigkeit

Es gibt eine Reihe von Indikatoren wie Kosten der Produktion, oder pro produzierter t, produzierte Menge pro Person/a, Beitrag zur regionalen oder nationalen Ökonomie etc. Hierauf soll im Einzelnen nicht eingegangen werden. Interessant ist, dass Buchführung auch für kleine Familienbetriebe als sinnvoll angesehen wird, da so die Kosten besser kontrolliert werden können, was

sich auf Dauer auch für den Betrieb bezahlt machen soll. Beschränkende Vorschriften, die nichts mit der Produktionskapazität einer Anlage zu tun haben, sollten unterlassen werden, da sie die Profitabilität verringern. Regulatorische Kosten sollten nur angewandt werden, wenn damit die Nachhaltigkeit verbessert wird. Schließlich wird die Erhebung relativ leicht zu messender ökonomischer Parameter auf Betriebsebene als ein Schlüsselement für eine Statistik des gesamten Sektors angesehen, auch im Zusammenhang mit der Einführung der nachfolgend genannten Indikatoren.

- öffentliches Ansehen

Aquakultur hängt wie jede andere Nahrungsmittelproduktion vom Wohlwollen des Konsumenten und der Medien ab. Es ist auffällig wie viel Raum und Zeit in unseren elektronischen und Printmedien dem Essen gegeben wird. Die einen möchten gesunde, gut schmeckende, nahrhafte Nahrung, die möglichst wenig kosten soll, was leider ein Widerspruch in sich sein kann. Die anderen sind immer auf der Suche nach „Stories“, deren inhaltliche Form der Veröffentlichung mit dem Anspruch auf Seriosität des publizierenden Mediums selbst korreliert, auch wenn letztlich der Redakteur entscheidend ist. Aber die Aquakultur kann auch hier selbst einiges für ihr öffentliches Ansehen tun. Thematisch gesehen kann man die die Öffentlichkeit interessierenden relevanten Indikatoren in drei Gruppen einteilen:

- Tierwohlergehen (Welfare ist nicht das gleiche wie Tierschutz!)
- Verbrauchervertrauen/-zufriedenheit
- Nachhaltigkeit

Insbesondere die ersten beiden Bereiche sind mit sehr subjektiven Empfindungen besetzt. Es fällt z. B. immer wieder das Stichwort Besatzdichte nach dem Motto je dünner, desto besser. Hier tut Aufklärung Not, ist aber schwer an den Mann zu bringen, weil vorgefasste Meinungen sehr fest sitzen. Vertrauen kann man durch hohe Qualität gewinnen. Dennoch, ein Produkt ist optisch, sensorisch, chemisch und mikrobiologisch nicht zu beanstanden, aber trotzdem wird es reklamiert, weil es geschmacklich nicht gefällt. Nachhaltigkeit, als dritter Punkt genannt, ist selber kein Indikator für öffentliches Ansehen, aber dahinter verbergen sich Themenkreise, deren Vermittlung in jeder Kommunikationsstrategie von herausgehobener Bedeutung ist.

- Ressourcennutzung

Die Ressourcen sind für die Aquakultur von besonderer Bedeutung, die Optimierung ihrer Nutzung ebenso. Die nachfolgend aufgeführten Indikatoren sind selbsterklärend.

- Verfügbarkeit und Qualität von Wasser für die Aquakultur
- Ressourcen-/Energienutzung pro produzierter Einheit
- Futter aus nachhaltigen Quellen
- Substitution mariner Protein- und Fettquellen

- Futtermittelverwertung
- Brut und Besatz aus nachhaltiger Herkunft
- Steigerung der Nachfrage nach Besatz aus dem Bruthaus
- Bruthäuser für „neue“ Arten, Selektion und genetische Verbesserung

Einige Punkte finden sich, wenn auch unter anderem Blickwinkel gesehen unter anderen Überschriften wieder.

- Gesundheitsmanagement und Tierwohlergehen

Nicht alle Themen werden in wünschenswerter Weise dargestellt. So heißt es zu fish welfare: “It is now generally accepted that fish have sufficient physiological and cognitive complexity to experience suffering, although the exact extent and nature of such suffering remains a matter of dispute.” Diese Aussage ist nicht richtig. Hier ist nicht von Schmerz die Rede, sondern von Leid. Dieses letztere ist die seelische Verarbeitung von ersterem. Und es ist überhaupt nicht allgemein akzeptiert, dass Fische Leid empfinden. Und weiter: “Therefore fish welfare is a legitimate cause of concern. This is certainly the public perception.” Jetzt wird in einem zweiten Schritt die Öffentlichkeit ins Spiel gebracht und die Behauptung aus dem vorhergehenden Satz somit gestützt. Dies tendiert in Richtung Missbrauch der Öffentlichkeit, aber nicht ihrer Information.

- Umweltstandards

Die zahlreichen Forderungen mit Bezug zu diesem Thema wurden auf drei Indikatoren kondensiert:

- Effektive Standortauswahl
- Verringerung der Auswirkungen durch Minimierung der Belastung durch Umweltüberwachung und Anwendung der „besten Praxis“
- Bestimmung der Belastungsfähigkeit

Zumindest die Punkte 2 und 3 sind im Zusammenhang mit der marinen Aquakultur zu sehen. Außerdem wurde darauf hingewiesen, dass verschiedene Formen der Aquakultur auch verschiedene Umweltqualitätsstandards benötigen.

- Humankapital

Die Indikatoren betreffen die drei Bereiche Beschäftigung, Arbeitskräfte sowie Ausbildung inkl. Training und Technologietransfer. Aquakultur kann helfen der Landflucht entgegenzuwirken und das soziale und kulturelle Erbe zu erhalten. Fachliche Fähigkeiten gewinnen zunehmend an Bedeutung und diese Kompetenz muss ständig verbessert werden. Auf der anderen Seite ist sie am schwierigsten zu messen und über ganz Europa betrachtet sehr unterschiedlich ausgeprägt. Daher gibt es Bemühungen eine übergreifende Liste der geforderten Kompetenzen aufzustellen.

- Biodiversität

Auch dieses Thema wird teilweise hochgradig meereslastig behandelt. Entkommen und technische Standards für Netzgehege werden genannt, aber auch die Reduzierung der Nutzung exotischer, sprich nicht-einheimischer Arten. Eine Kombination dieser beiden Punkte führt zur Aussage, dass Kreislaufsysteme das höchste Potenzial haben ein Entkommen aus der Anlage zu verhindern und daher für Exoten am besten geeignet sind. Schließlich wird noch auf die integrierte Aquakultur hingewiesen, bei der verschiedene Arten unterschiedliche trophische Niveaus nutzen (und u. U. in verschiedenen Kompartimenten gehalten werden). Dies stellt keine Polykultur im eigentlichen Sinne dar.

- Nachernteoperationen

Durch „Ernte auf Bestellung“ erhält der Konsument ein frisches Produkt. Nachernteoperationen wie Verarbeitung und Verpackung spielen eine große Rolle dabei. Effektive Reinigungs- und Separationstechniken und bessere Nutzung der Nebenprodukte sollten ein Ziel sein. Weiterhin wird die kostengünstigere Überwachung von Muscheln auf Toxine (z. B. PSP) als Notwendigkeit gesehen, um nicht Verbrauchervertrauen zu verspielen.

- Sektorangelegenheiten

Weiterhin wurden einige Querschnittsthemen identifiziert, die nicht einem der vorgenannten Themen zugeordnet werden können wie eine bessere Statistik, die Steigerung der Innovationsfähigkeit, Verbesserung von Gesetzen – was immer darunter zu verstehen ist, um eine Abschaffung überflüssiger und arbeitsaufwendiger Verordnungen und Richtlinien kann es sich dabei kaum gehandelt haben - und strategischer Entwicklungsplan für eine nachhaltige Muschelaquakultur.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der Komplex nachhaltige Aquakultur in Europa ziemlich umfassend behandelt wurde und die insgesamt viel zu hohe Zahl von 78 Indikatoren aus den neun Themenkreisen zahlenmäßig zunächst deutlich verringert werden müssen. Hier kommt die Idee eines Nachhaltigkeits-Standards in Form eines EU-Siegels hinzu. Dazu gibt es verschiedene Punkte zu bedenken wie:

- nur ein Siegel für gefangene und gefarmte Organismen,
- Definierung von Minimalanforderungen, die für alle Produkte und Produktionszweige gelten,
- rechtliche Aspekte des Siegels,
- Freiwilligkeit,
- Mehrwert etc.

Auch sind üblicherweise die Kosten für eine Zertifizierung erheblich. Hierfür hat sich inzwischen eine neue Dienstleistungsbranche entwickelt.

Erst wenn die laufende Diskussion zu einem abschließendem Ergebnis gekommen ist, wird man beurteilen können, ob mit dem Siegel ein Handwerkszeug zur Verfügung steht, das nützlich ist, um die gesteckten Ziele, nämlich einen Dialog zwischen den verschiedenen Beteiligten, aber vor allem die Information des Verbrauchers zu erreichen und auf Dauer zu unterhalten.

NB

Die gegenwärtige Entwicklung einer europäischen Aquakultur, die das Wohlwollen der europäischen Kommission hat, findet primär im marinen Bereich statt. Wie schon in der Vergangenheit beachtet sie die traditionelle Teichwirtschaft nur am Rande. Auf der anderen Seite mischt sie sich aber auch hier mit Vorgaben z. B. zu Statistik, Hygiene, nicht-einheimischen Arten etc. immer mehr ein. Das ist im schlimmsten Fall mit ständig neuen Kosten verbunden.

Literatur

Alvesleben, R.v. 2000 Zur Nachhaltigkeit land- und forstwirtschaftlicher Nutzungssysteme. Tagung der August-Bier Stiftung und des ZALF am 17.3.2000 in Müncheberg.
(<http://orgprints.org/1652/01/nachhaltneu.pdf>)

FAO 2008 FishStat Plus, Version 2.3
(<http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstat>)

Karpfenteichwirtschaft - eine traditionelle und Ressourcen schonende Form der Fischproduktion

Gert Füllner

Zusammenfassung

Karpfenteichwirtschaft ist die traditionellste Form der fischereilichen Produktion. Sie wird seit Jahrhunderten nach dem Prinzip der Nachhaltigkeit und Ressourcen schonend praktiziert.

Karpfenteiche werden heute mehr denn je multifunktionell genutzt. Karpfenteiche dienen der Erholungsnutzung. Sie sind wertvollste Lebensräume für geschützte Tier- und Pflanzenarten und nicht zuletzt Wasserspeicher in der Landschaft. Die Karpfenteichwirtschaft ist die Form der Aquakultur, die den größten Flächenbedarf hat. Die Flächen, die für die Anlage von Teichen genutzt werden, sind aber in vielen Fällen für andere Formen der Landnutzung schlecht geeignet. Wasser wird nur für ihre Füllung und während der eigentlichen Produktionsperiode für den Ausgleich von Verdunstung und Versickerung benötigt. Das aus Bächen und Flüssen entnommene Wasser wird in diese häufig in einer besseren Güte zurückgegeben, als es entnommen wird. Karpfenteichwirtschaft entspricht im übertragenen Sinn einer Weidenutzung der natürlichen Primärproduktion. In der traditionellen Karpfenteichwirtschaft können eiweißarme, kohlenhydratreiche Futtermittel, wie Getreide für die Fütterung eingesetzt werden. Damit werden tierische Eiweißquellen, wie Fischmehl, für

die Aufzucht der meisten Fischarten in Teichen nicht benötigt. Bei entsprechenden Besatzdichten kann auf die Fütterung sogar ganz verzichtet werden. Die Besatzfische für die Teiche kommen aus der eigenen Erzeugung. Laichfischhaltung und Erbrütung erfolgen in der Regel im eigenen Unternehmen. In den Karpfenteichwirtschaften können verschiedene Fischarten aufgezogen werden. Neben Nutzfischen sind das in zunehmendem Maße gefährdete Fischarten für den Besatz offener Gewässer. Die Karpfenteichwirtschaft hat regional für die Naturausstattung eine herausragende Bedeutung. Unternehmen der Teichwirtschaft spielen für die Stärkung ländlicher Räume eine nicht zu unterschätzende Rolle. Auch in Zukunft kann Karpfenteichwirtschaft nachhaltig und Ressourcen schonend betrieben werden.

1. Karpfenteichwirtschaft als traditionelle Form der Fischproduktion

Karpfenteichwirtschaft ist die älteste bekannte Form der Fischerezeugung. Sie wird bereits seit Jahrtausenden zur Herstellung hochwertigen tierischen Eiweißes praktiziert. Bereits aus der Zeit vom 14. – 7. Jahrhundert v. Chr. gibt es Nachweise für die Anlage von Fischteichen in Assyrien. Aus dem 7. Jahrhundert v. Chr. datiert auch die erste schriftliche Anleitung des chinesischen Gelehrten FAN LI zur Bewirtschaftung von Karpfenteichen.

Auch in Europa hat die Karpfenteichwirtschaft eine fast 2000-jährige Tradition. Der Beginn der Karpfenaufzucht in Europa lag etwa im 1. bis 4. Jahrhundert u. Z. (BALON 1969). Es besteht heute Klarheit darüber, dass die Römer die ersten waren, die Wildkarpfen aus der Donau in Teichen kultivierten. Mit dem aufkommenden Christentum verbreitete sich die Karpfenteichwirtschaft über ganz Europa. In den nunmehr eingeführten 100 Fastentagen pro Jahr durften nur Krebse, Muscheln und andere kaltblütige Tiere, wie z. B. Fische gegessen werden. Weil das Übertreten der Fastenregeln hart, bis hin zur Todesstrafe geahndet wurde, war die ständige Verfügbarkeit von Fischen von Bedeutung. Fische wurden so für die Mönche die einzige Quelle für ein reichhaltiges und schmackhaftes Essen in einem relativ langen Zeitraum des Jahres. Da Fische aus Flüssen und Seen nicht ständig verfügbar waren, gehörte zu einem neu gegründeten Kloster stets die Anlage einer Fischteichanlage nach römischem Muster (BALON, 1995). Im 8. und 9. Jahrhundert war die Karpfenteichwirtschaft in Deutschland bereits so weit verbreitet, dass KARL DER GROSSE (768-814) erste detaillierte Instruktionen an seine Pächter zur Anlage und Unterhaltung von Teichen verfassen ließ.

Die ersten schriftlichen Belege für die Existenz von Teichen stammen aus dem 11. Jahrhundert aus Böhmen. Der Groß-Sahorsch-Teich (Záhořský rybník) bei Sahorsch (Záhoří u Nový Hrádek) wird in einer Urkunde des Jahres 1221 genannt. Der

Ratimorov bei Neuhaus (Jindřichův Hradec), wird erstmals 1253 erwähnt. Im Jahre 1263 erwarb das Stift in Goldenkron (Zlatá Koruna) nicht nur Felder, Weiden und Wälder, sondern auch Fischteiche (SPERLING, 1993).

Für das Kloster Waldsassen im Stiftsland bei Tirschenreuth ist bereits 1138 der Erwerb des Hofteiches belegt. Die Entstehung weiterer Teiche datiert aus dem 13. Jahrhundert. In der Blütezeit des Klosters im 13. und 14. Jahrhundert betrug die Teichfläche im Stiftsland 2.000 ha (KLUPP, 1988).

Für die Oberlausitz ist der Verkauf von Teichen erstmals in der Gründungsurkunde des Klosters St. Marienstern von 1248 belegt (HARTSTOCK, 2004).

Vor allem durch den Adel erfolgte in Deutschland im 15. und 16. Jahrhundert ein starker Ausbau der teichwirtschaftlich genutzten Flächen. Die Teichwirtschaft war zu dieser Zeit eine betriebswirtschaftlich außerordentlich ertragreiche Form der Landwirtschaft.

2. Ressourcenschonung oder das Prinzip der „Nachhaltigkeit“

Der Begriff „Nachhaltigkeit“ wird heute auf eine Publikation des sächsischen Kammerrats und Oberberghauptmanns HANS CARL VON CARLOWITZ aus dem Jahr 1713 zurückgeführt, in der er von der

„nachhaltenden Nutzung“ der Wälder schrieb, ohne allerdings konkret auszuführen, wie dies zu erreichen sei. Erst in seiner Anweisung zur Taxation und Beschreibung der Forstbestände von 1795 definierte GEORG LUDWIG HARTIG den Begriff. Bei der Bewirtschaftung des Waldes sollte demnach immer nur so viel Holz entnommen werden, wie nachwachsen kann, so dass der Wald nie zur Gänze abgeholzt wird, sondern sich immer wieder regenerieren kann. Der also im deutschen Forstwesen entstandenen Begriff „Nachhaltigkeit“ wurde schließlich als „sustained yield“ ins Englisch übertragen und fand so auch Eingang in die internationale Forstwissenschaft. Inzwischen wurde der Begriff von Ökologen, Ökonomen, Soziologen und auch von der Politik „vereinnahmt“. Als Folge dieser Entwicklung gibt es aktuell eine Vielzahl von Definitionen des Begriffs der „Nachhaltigkeit“. Allen Nachhaltigkeitsdefinitionen gemein ist der Erhalt eines Systems bzw. bestimmter Charakteristika eines Systems, sei es die Produktionskapazität des sozialen Systems oder des lebenserhaltenden ökologischen Systems. Vereinfacht gesehen versteht man unter Nachhaltigkeit einen schonenden, verantwortungsvollen Umgang mit den verfügbaren Ressourcen. Nachhaltigkeit steht im Gegensatz zur Verschwendung oder einer kurzfristigen Plünderung von Ressourcen. Sie orientiert sich an zukünftigen Entwicklungen und Generationen.

Ohne den Begriff bereits zu verwenden, wird das Prinzip der Nachhaltigkeit auch in der Fischerei schon seit mehreren hundert

Jahren verfolgt. Im 16. Jahrhundert war es praktisch flächendeckend notwendig geworden, „Fischordnungen“ zu erlassen, die einem ungezügelter Fischfang der natürlichen Fischbestände der Flüsse und Seen Einhalt geboten. Aus der gleichen Zeit stammen auch die ersten Marktordnungen mit Mindestmaßen für die verkaufsfähigen Fische.

Es versteht sich eigentlich von selbst, dass auch unsere heutigen, vielfach seit mehreren Jahrhunderten kontinuierlich genutzten Teichanlagen, die eine hochspezialisierte Form der landwirtschaftlichen Bodennutzung darstellen, die Zeiten nur überdauern konnten, wenn ihre kontinuierliche Nutzung nach dem Prinzip der Nachhaltigkeit im Sinne von HANS CARL VON CARLOWITZ erfolgt ist. Diese nachhaltige Bewirtschaftung erfolgte nicht nur durch die bewusste Anwendung gesammelter Erfahrungen, sondern auch frühzeitig durch Vermittlung von Fachwissen zur sachgerechten oder „ordnungsgemäßen“ oder „nachhaltigen“ Teichbewirtschaftung. Aus dem Jahr 1547 ist uns bereits mit DUBRAVIUS „Buch von den Teichen und den Fischen, welche in denselben gezüchtet werden“ eine „Best Managing Practice“ in der Karpfenteichwirtschaft überliefert.

Kontinuität in der Bewirtschaftung von Karpfenteichen heißt jedoch nicht, dass nachhaltige Bewirtschaftung ohne jegliche Veränderungen erfolgt wäre. Vielmehr erfolgte stets eine sinnvolle Anpassung der Teichbewirtschaftung an sich ändernde Konzeptionen. Das

waren zum Einen gesellschaftliche und ökonomische Rahmenbedingungen aber auch vor Jahrhunderten bereits Anpassungen an Klimaveränderungen oder Veränderungen des Wasserhaushalts (FÜLLNER, 2008). HARTSTOCK (2004) bezeichnet die Teichwirtschaft treffender Weise als Produkt Jahrhunderte langen menschlichen Fleißes, kluger Anpassungen an gesellschaftliche Bedingungen, Naturbeobachtung, geniale Nutzung technischen Wissens und umweltkonformen Verhaltens.

Leider zielt „moderner“ Umweltschutz heute, zumindest in der behördlichen Umsetzung in Deutschland, auf den Erhalt imaginärer Gleichgewichtszustände ab, die es in der Natur eigentlich nicht gibt. Damit sind Konflikte zwischen der klugen und voraus schauenden Anpassung der Bewirtschaftung von Teichen im Sinne ihrer nachhaltigen Nutzung leider vorprogrammiert. Das immer wieder angewandte „Verschlechterungsverbot“ der Richtlinie 92/43/EWG (FFH-Richtlinie), ließe heute in deren praktischen Umsetzung in Deutschland solch einstmals notwendigen und sinnvolle Nutzungsformen, wie eine Teichsömmerung gar nicht mehr zu. Aber selbst eine winterliche Trockenlegung oder die Änderung der aufgezogenen Fischart oder Alterststufe von Fischen geht einigen von Ihren Verbänden getriebenen Umweltverwaltung schon zu weit. Ganz zu schweigen von Schilfschnitt, Beseitigung von Unterwasserpflanzen, Teichdampfpflege, Teichdüngung oder Veränderungen bei der Wahl des eingesetzten Futtermittels.

Es bleibt zu hoffen dass unsere Teichwirte durch solch statisches Denken nicht generell die Lust an einer sinnvollen Teichbewirtschaftung verlieren, das wäre im Sinne der Nachhaltigkeit nämlich kontraproduktiv.

3. Karpfenteichwirtschaft als Ressourcen schonende Form der Fischproduktion

Ganz im Sinne der Carlowitz'schen Nachhaltigkeit steht ein schonender Umgang mit den vorhandenen Ressourcen. Karpfenteichwirtschaft ist eine Ressourcen schonende, vielleicht sogar die Ressourcen schonendste Form der Fischproduktion. Dies anerkennt sogar die radikale Umweltschutzorganisation „Greenpeace“, die auf ihrem Merkblatt „Welcher Fisch darf auf den Fisch“ konventionell aufgezogene Karpfen als einzige Fischart für den Konsum empfiehlt.

Teiche sind keine schlichten Produktionsstätten. Karpfenteiche werden heute mehr denn je multifunktionell genutzt. Karpfenteiche dienen der Erholungsnutzung. Sie sind wertvollste Lebensräume für geschützte Tier- und Pflanzenarten und nicht zuletzt Wasserspeicher in der Landschaft.

3.1 Ressource Fläche

Dabei ist die Karpfenteichwirtschaft ohne Zweifel die Form der Aquakultur, die den größten Flächenbedarf hat. Die Flächen, die für die Anlage von Teichen genutzt werden, sind aber in vielen Fällen

für andere Formen der Landnutzung schlecht geeignet. In Europa werden heute fast nur noch solche Flächen als Teich genutzt, die für eine andere landwirtschaftliche Bewirtschaftung wegen ihrer geringen Ertragsfähigkeit oder ungünstigen Meliorationsverhältnisse nur eingeschränkt in Frage kommen. In der flächenintensiven Warmwasserteichwirtschaft Asiens kann keine andere Form tierischen Eiweißes auf der gleichen Fläche preiswerter erzeugt werden. Die Bewirtschaftung erfolgt dort nicht zuletzt deshalb mit einer hohen Flächenintensität.

3.2 Ressource Wasser

Der Wasserbedarf ist in der Karpfenteichwirtschaft gering. Wasser wird nur für ihre Füllung und während der eigentlichen Produktionsperiode für den Ausgleich von Verdunstung und Versickerung benötigt. Die Anforderungen an die Qualität des Zuflusswassers sind gering. Das aus Bächen und Flüssen entnommene Wasser wird in diese häufig in einer besseren Güte zurückgegeben, als es entnommen wird (KNÖSCHE et al., 1997, 1998 a, b).

Für die Sicherung des Wasserstands werden nur maximal 1 l/s x ha benötigt. Im Rahmen von Wasserbilanzen ist heute das Wasserrückhaltevermögen der Teiche von enormer Bedeutung

3.3 Ressource Futter

In der Karpfenteichwirtschaft kann bereits ohne zusätzliches Futter Fischeiweiß erzeugt werden. Die Flächenerträge sind wegen der zielgerichteten Bewirtschaftungsmaßnahmen Besatz, Düngung und Kalkung um ein Vielfaches höher als bei der einfachen Ertragsabschöpfung in der Seen- und Flussfischerei.

Weil der Karpfen in der Lage ist, native Stärke ausreichend gut zu verdauen, kann durch kohlehydratreiche Zufütterung der Flächen-ertrag gegenüber der natürlichen Ertragsfähigkeit erheblich gesteigert werden. Die einsetzbaren Zusatzfuttermittel sind nur eine Ergänzung zur Naturnahrung. Die über die Ergänzungsfuttermittel zugeführten Kohlenhydrate dienen als Energielieferant für den Stoffwechsel und reduzieren den Luxusverbrauch von Nährtierereiweiß zur Energiegewinnung auf ein physiologisch mögliches Minimum. Dadurch wird die Gesamtnahrung effektiver genutzt. Diese Form der Karpfenteichwirtschaft entspricht im übertragenen Sinn einer Weidenutzung der natürlichen Primärproduktion. Weil die Beifuttermittel nicht vollwertig sind, sind die Flächenerträge bei der Bewirtschaftung mit Ergänzungsfuttermitteln (in der Regel Getreide, in Asien aber auch Pflanzenabfälle) nach wie vor naturnahrungslimitiert. Die mit Naturnahrung zu erreichenden Erträge können so jedoch etwa verdreifacht werden. Diese besondere Fähigkeit des Karpfens führt dazu, dass der Fischmehlbedarf für die Karpfenaufzucht auch weltweit gesehen deutlich niedriger liegt, als der anderer Aquakultur-

produkte (Tabelle 1). Allein diese Tatsache macht Karpfen zu der weltweit am meisten kultivierten Fischgruppe. Dieser praktisch auch noch weiter reduzierbare Umgang mit den knapper werdenden Ressourcen an Fischmehl könnte in der Zukunft noch an Bedeutung gewinnen.

Tab. 1: Anteil der Aquakulturprodukte am weltweiten Fischmehlverbrauch und an der Weltaquakulturerzeugung im Jahr 2003. Nach TACON et al. (2006) und FAO fishstat

	Anteil an der Weltaquakulturerzeugung (%)	Anteil am Fischmehlverbrauch (%)
Karpfen	40,7	14,9
Marine Shrimps	13,8	22,8
Lachse	12,0	19,5
Tilapia	10,9	2,7
Fische in Marikultur	6,9	20,1
Süßwasserkrebse	5,7	4,7
Milchfisch	3,4	1,2
Welse	2,7	0,8
Forellen	2,4	7,4
Aale	1,5	5,8

Selbst vollwertige Mischfuttermittel werden vom Karpfen, wie von fast allen Fischen effektiver als bei Warmblütern in für den menschlichen Konsum hochwertiges tierisches Eiweiß umgesetzt. Bei opti-

maler Futtermittelverwertung kann mit 1 kg Mischfutter 1 Kilogramm Karpfenzuwachs erzielt werden. Selbst bei bester Futtermittelverwertung unterschreitet die Futtermittelverwertung bei Nutzgeflügel oder Schweinen kaum 2,6 kg je kg Zuwachs.

3.4 Ressource Satzische

In den Karpfenteichwirtschaften können verschiedene Fischarten aufgezogen werden. Neben Speise- und Zierfischen sind das in zunehmendem Maße gefährdete Fischarten für den Besatz offener Gewässer.

Die Besatzfische für die Teiche kommen aus der eigenen Erzeugung. Alle Altersstufen von Karpfen können in einem Betrieb erzeugt, aufgezogen bzw. gehalten werden. Eine Abhängigkeit von Lieferanten ist nicht erforderlich. Laichfischhaltung und Erbrütung erfolgen in der Regel im eigenen Unternehmen. Die Vermehrung erfolgt mittels einfacher Biotechnologien. Das sichert, dass die gesamte Produktionskette mit geringen Transporten auskommt.

Selbst wenn wegen fehlender Voraussetzungen nicht alle Altersstufen im eigenen Unternehmen erzeugt werden können, bleibt der Satzischhandel der Karpfenteichwirtschaft auf kurze Transportwege beschränkt.

3.5 Ressource fossile Energie

Heute ist es nicht mehr ungewöhnlich, dass Wildlachs aus Alaska und Kanada, Regenbogenforellen aus Chile, Pangasius aus Vietnam oder Viktoriabarsch aus Afrika nach Deutschland eingeführt werden. Demnächst dürfte Cobia aus Australien oder Neuseeland folgen. Dieser weltweite Fischhandel geschieht weder nach dem Prinzip der Nachhaltigkeit noch nach dem Prinzip der Ressourcenschonung. Die Einfuhr dieser und anderer Fischarten wirft sicher kurzfristig gute Gewinne ab, verbraucht aber mit dem für den Transport erforderlichen Kerosin erhebliche Ressourcen an fossiler Energie.

Die Erzeugnisse der Karpfenteichwirtschaft werden dagegen sowohl in Europa, aber insbesondere in den Haupterzeugerländern in Asien regional vermarktet. Die Distribution der Fische aus Karpfenteichen kommt damit mit den geringsten Transportaufwendungen aus.

3.6 Ressource Naturlausstattung

Die Karpfenteichwirtschaft ist wahrscheinlich die einzige Kultivierungsmaßnahme des Menschen, in deren Folge sich die Naturlausstattung verbessert hat. Natürlich sind dem Teichbau auch sumpfige Wiesen und Moore zum Opfer gefallen, die inzwischen in der Natur selten geworden sind. Den Verlust dieser artenarmen Extremstandorte durch die Anlage von Teichen kann man sicher aus Sicht des Naturschutzes bedauern. Eine Urbarmachung der ver-

nässten Flächen wäre aber auch ohne die Anlage von Teichen erfolgt. Gerade in den Teichgebieten überlebten aber große Teile der Flora und Fauna der Sümpfe, was auf sonstigen Nutzflächen, seien sie landwirtschaftlich oder gewerblich genutzt, kaum möglich ist. Darüber hinaus leben heute in unseren Teichgebieten viele anderen an Flachwasser gebundenen Tiere und Pflanzen. Deren Lebensräume sind durch den Verlust der Auwälder und Überschwemmungsflächen unserer Flüsse in der übrigen Landschaft knapp geworden. Die Karpfenteiche sind heute Ersatzlebensräume für viele Tier- und Pflanzenarten der zerstörten Flussauen.

Wegen der überragenden Bedeutung der Karpfenteiche für die Naturausstattung sind große Teile der Teichlandschaften Deutschlands unter Naturschutz gestellt. Das ist eigentlich paradox, sind doch unsere Teiche eine Kulturlandschaft mit hochspezialisierten landwirtschaftlicher Nutzung. Teichlandschaft ist genau genommen „nur“ Natur aus zweiter Hand. Die Nutzung der Teiche erfolgt jedoch so naturverträglich, dass Laien unsere Teiche schnell als natürliche Gewässerlandschaften ansehen.

3.7 Stärkung der ländlichen Räume

Karpfenteichwirtschaft ist an ländliche Räume gebunden. Die Wertschöpfung unserer Unternehmen findet in der Region statt. Unsere Unternehmen der Teichwirtschaft sind heute vielfach Teil der örtlichen Kultur. Dazu beigetragen haben eine zunehmend gläserne

Produktion sowie die zunehmende Verknüpfung der Fischvermarktung mit dem Erholungsbedürfnis der städtischen Bevölkerung bei Hoffesten oder Schauabfischungen. Darüber hinaus nehmen Teichwirte in zunehmendem Maße Funktionen im Rahmen der Umweltbildung wahr. Besonders wirksam sind solche Aktionen, wenn sie im Rahmen von Erlebniswochen stattfinden. Hier können die Angebote von Fischerei, Gastronomie und Tourismus noch zielgerichteter gebündelt werden. Tradition haben inzwischen beispielsweise die Lausitzer Fischwochen und die Karpfenwochen im Waldviertel oder in bayerischen Erzeugergebieten.

Primär führen die Aktionen der Teichwirte zu einer engen Bindung der Konsumenten an die Produzenten. Die Karpfenteichwirtschaftsbetriebe tragen aber daneben aktiv zu einer Stärkung der ländlichen Räume bei.

3.8 Erzeugung gesunder Lebensmittel

Karpfen zählen durch ihre Aufzucht in biologisch hoch aktiven Warmwasserstandteichen zu den schadstoffärmsten tierischen Lebensmitteln. Selbst Schadstoffe aus belasteten Vorflutern werden nicht im Fisch akkumuliert, sondern offenbar im Sediment des Teichs gebunden oder über die biologischen und chemischen Abbauprozesse unschädlich gemacht (Abb. 1).

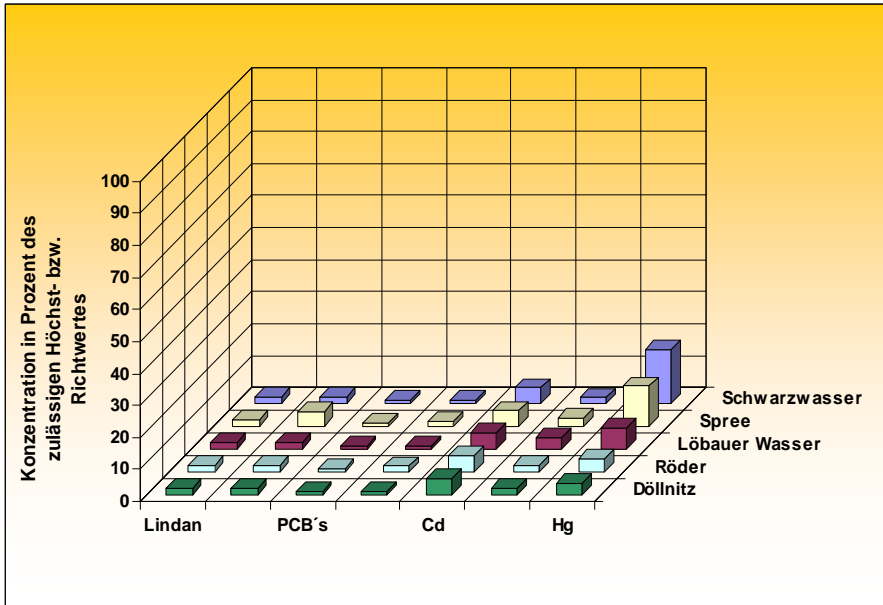


Abb. 1: Schadstoffgehalte von Speisekarpfen sächsischer Teichwirtschaftsunternehmen an unterschiedlichen Vorflutern. Untersuchungen Königswartha 2000.

4. Schlussfolgerungen

Karpfenteichwirtschaft ist eine traditionsreiche und Ressourcenschonende Form der Aquakultur. Die Bedeutung dieser Produktionsform kann in der Zukunft bei sich weiter verknappenden Ressourcen steigen.

Die Bewirtschaftung von Teichen hat in vielen Fällen eine Kulturlandschaft von herausragender Bedeutung geschaffen. Diese Landschaft kann durch nachhaltige Bewirtschaftung durch gut ausge-

bildete Fachleute auch für nachfolgende Generationen gesichert werden. Dazu ist primär zu gewährleisten, dass die Teiche kontinuierlich und sachgerecht bewirtschaftet werden. Die Bewirtschaftung hat mit dem Ziel der Erzeugung von Fisch zu erfolgen, dem Ziel zu dessen Zweck sie vor hunderten von Jahren angelegt worden sind.

Nachhaltige Teichbewirtschaftung bedarf keiner statischen Sicht. In der Weise, wie sich die gesellschaftlichen oder ökonomischen Rahmenbedingungen ändern, sind die Regeln einer nachhaltigen Teichbewirtschaftung jeweils an die aktuelle Situation anzupassen. Dies kann nur die Aufgabe der Fischereiwissenschaft sein.

Literatur

BALON, E. K.: Studies on the wild carp *Cyprinus carpio carpio* Linnaeus, 1758. I. New opinions concerning the origin of the carp. Prace Lab. Ryb. Bratislava 2 (1969), S. 99-119

BALON, E. K.: Origin and domestication of the wild carp, *Cyprinus carpio*: from Roman gourmets to the swimming flowers. Aquaculture 129 (1995) 3-48

DUBRAVIUS, J.: in: **WÜSTNER, A. U. KOLLMANN, J.:** Deutsche Übersetzung von Johannes Dubravius Buch von den Teichen und den Fischen, welche in denselben gezüchtet werden. (Breslau, Andreas Winkler. 1547). Wien 1906. Verlag der K.K. österr. Fischerei-Gesellschaft

EU: Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen. Amtsblatt Nr. L 206 vom 22/07/1992 S. 7 - 50

FAO: Fishstat Plus Version 2.30. Rom (2006)

FÜLLNER, G.: Auswirkungen von Klimaeränderungen auf die Karpfenteichwirtschaft. Fischer & Teichwirt 59 (2008) 1: 8-11

HARTIG, G.L.: Anweisung zur Holzzucht für Förster. Marburg (1791)

HARTSTOCK, E.: Teichwirtschaft in der Oberlausitz. Abriß der Geschichte von den Anfängen bis 1945. Lusatia Verlag Bautzen (2004): 392 S.

HOFFBAUER: Wie steht es mit der Nachhaltigkeit des Betriebes in der Karpfenteichwirtschaft? Zeitschrift Fischerei 9 (1902):118-123

KLUPP, H.: Wenig Wasser – v'l Fisch. Teichgenossenschaft Tirschenreuth (1988), 256 S.

- KNÖSCHE, R., M. PFEIFER u. H. WEIßENBACH:** Phosphor- und Stickstoffbilanzen von Karpfenteichen. Fischer & Teichwirt 48(1997)7: 290-293
- KNÖSCHE, R., M. PFEIFER u. H. WEIßENBACH.:** Phosphor- und Stickstoffbilanzen von Karpfenteichen. Z. Ökologie u. Naturschutz 7 (1998): 181-189
- KNÖSCHE, R., K. SCHRECKENBACH, M. PFEIFER & H. WEIßENBACH:** Balances of phosphorus and nitrogen in carp ponds. FAO Fisheries Report No. 580 Suppl.(1998): 23
- SPERLING:** Fischteiche in den böhmischen Ländern im Bild alter Landkarten. Trierer Geographische Studien (1993) 9, 297-309
- TACON, A.G.J., HASAN, M.R. & SUBASINGHE, R.P.** Use Of Fisheries Ressources As Feed Inputs to Aquaculture Development: Trends and Policy Implications. FAO Fisheries Circular No. 1018 (2006): 114 pp.
- VON CARLOWITZ, HANS :** Sylvicultura Oeconomica. Leipzig (1713)

Teilrezirkulation in der Forellenteichwirtschaft – der Weg zu einer wirtschaftlichen und umweltverträglichen Betriebsweise

Alexander Tautenhahn

Zusammenfassung

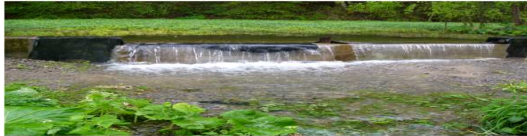
- Die Produktionsmenge in der klassischen Forellenteichwirtschaft ist direkt abhängig von der Menge und Qualität des zur Verfügung stehenden Wassers.
- Durch die Entwicklung neuer Kreislaufsysteme (nicht nur in Dänemark) wird eine deutlich höhere Ausnutzung des Wassers, sowie eine Entlastung der Umwelt erreicht.
- Allerdings ist diese Technologie in bestehenden Anlagen nicht ohne gravierende Veränderungen einzusetzen.
- In der klassischen Forellenteichwirtschaft wird eine Produktionssteigerung durch den Einsatz von Belüftungstechnik /Reinsauerstoff erreicht. Allerdings ist dies nur begrenzt möglich, da eine Reihe von Faktoren limitierend wirken (Stoffwechselendprodukte NH_4 , CO_2 , Krankheitserreger).
- Durch technische Maßnahmen kann eine Entlastung von Anlagen mit Teilrezirkulation erreicht werden (Abscheidung von Kot, Entfernung von Schwebstoffen, Zonen für biologische Wasserreinigung...).
- Große Bedeutung erlangt dabei die Verhinderung von krankheitsbedingten Verlusten und Wachstumsreduzierungen.

- Die intensivere Bewirtschaftung von klassischen Forellenteichwirtschaften durch Teilrezirkulation birgt aber auch technische Risiken, die abgesichert werden müssen (Mess- und Regelsysteme, Notsysteme).
- Teilrezirkulation kann eine deutliche Verbesserung der Wirtschaftlichkeit bringen, die Planung der Produktion muss allerdings exakter erfolgen.
- Das Verfahren braucht Futtermittel, die dafür geeignet sind.
- Durch die Verfahren der Teilrezirkulation kann eine Reduzierung der Wasserbelastung je kg erzeugter Fischmenge erreicht werden.

Im Folgenden wird die bearbeitete Power Point Präsentation des Vortrags wieder gegeben.

Warum Rezirkulation?

- ▶ **Wirtschaftlichkeit**
- ▶ **Anlagenauslastung**
- ▶ **Wassermenge**
- ▶ **Umweltaspekte**



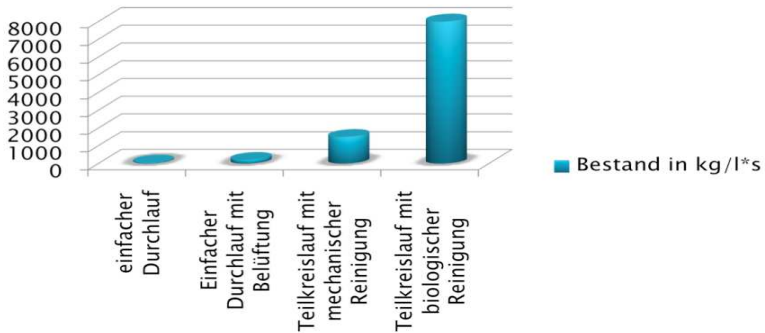
Da die Verfügbarkeit sauberen Wassers in Deutschland begrenzt ist, kann eine wirtschaftlich erfolgreiche Forellenaufzucht in der Regel nicht ohne eine Mehrfachnutzung des Wassers erfolgen. Der Grad der Mehrfachnutzung (Teilkreislaufintensität) wird dabei von verschiedenen Faktoren bestimmt.

Intensitätsstufen

- ▶ **Einfache Durchlaufsysteme**
- ▶ **Durchlaufsysteme mit Belüftung**
- ▶ **Rezirkulationssysteme ohne Reinigungsteil**
- ▶ **Rezirkulationssysteme mit mechanischer Reinigung**
- ▶ **Rezirkulationssysteme mit mechanischer und biologischer Reinigung**

In Abhängigkeit von der Intensität der Teilkreislaufnutzung werden zunächst Belüftungssysteme zur Sauerstoffanreicherung notwendig. Mit steigender Intensität ergibt sich die Notwendigkeit mechanischer und gegebenenfalls biologischer Reinigung.

Steigerung der Produktion durch Teilkreislaufnutzung



Die Übersicht zeigt anschaulich, wie stark die Produktionsmenge je l/s Wasser durch die Kreislaufnutzung gesteigert werden kann.

Einfache Durchlaufsysteme

- ▶ **Klassische Teiche**
- ▶ **Becken verschiedenster Bauart**
- ▶ **Produktionsniveau 30–70 kg/l*sec.**
- ▶ **Keine Entnahme von Kot während der Produktion**
- ▶ **Reinigung nach Abfischung**

Die klassischen Durchlaufsysteme ohne wiederholte Nutzung und Belüftung des Wassers findet man in Deutschland kaum noch und dann meist nur in kleineren (Hobby-)betrieben.

Durchlaufsysteme mit Belüftung

- ▶ **Klassische Teiche und Becken**
- ▶ **Sauerstoff als limitierender Faktor durch Belüftung aufgehoben**
- ▶ **Bei geringer Durchströmung Anstieg der Verschmutzung, die begrenzender Faktor wird**
- ▶ **Zeitweise ungünstige Wasserverhältnisse führen zu Krankheitsanfälligkeit**
- ▶ **Am weitesten verbreitetes System mit bis zu 200kg/l*sec (standortabhängig unterschiedlich)**

Am weitesten verbreitet und am sichersten funktionieren Durchlaufsysteme mit technischer Belüftung. Hier setzt sich immer mehr der Einsatz von Reinsauerstoff durch.

Rezirkulationssysteme ohne Reinigungsteil

- ▶ **Klassische Teiche, die nacheinander angelegt sind. Oft mit Belüftungseinrichtungen**
- ▶ **Pumpanlagen zur Rezirkulation**
- ▶ **Verschmutzung begrenzender Faktor**
- ▶ **Intensitätsniveau bis zu 200kg/l*sec**
- ▶ **Verschmutzung und größeres Fisch/Wasser-Verhältnis begünstigt Fischkrankheiten**
- ▶ **Je nach Bewirtschaftung Ablaufwasserbelastung erhöht**
- ▶ **Weit verbreitetes System**

Wenn das Wasser nacheinander mehrere Teiche oder Becken durchströmt oder eine Teilwassermenge zurückgepumpt wird, steigt die Produktionsmenge je l/s, aber auch das Risiko von Verschmutzung und Krankheiten. Die Bewirtschaftung erfordert deutlich mehr Kontrolle.

Rezirkulationssysteme mit mechanischer Reinigung

- ▶ Fließkanäle (Raceways) mit stufenartiger Anordnung (bis zu 3 Stufen)
- ▶ Zirkulationsbecken
- ▶ Rinnenanlagen
- ▶ Kombinationsanlagen
- ▶ In der Regel mit Absetzbereichen zur Entnahme von Kot/Sediment
- ▶ Teilweise Einsatz von Trommelfiltern
- ▶ Je nach Betriebsweise bis zu 1.500 kg/l*sec

Die mechanische Reinigung des Kreislaufwassers ermöglicht eine weitere Steigerung der Produktion je l/s. Insgesamt wird die Emission je kg erzeugtem Fisch geringer. Die höhere Intensität setzt aber insbesondere im Hinblick auf mögliche Fischkrankheiten höhere Aufmerksamkeit und Kontrolle voraus. Dauerhafter Erfolg ist nur mit seuchenfreiem Besatzmaterial möglich.



Beispiel einer Fließkanalanlage. Am Ende der ersten Stufe ist eine Sedimentation angeordnet. Mittels Oxytrans wird Reinsauerstoff zugeführt.

Rezirkulationssysteme mit mechanischer und biologischer Reinigung

- ▶ Dänische Kreislaufanlagen, mittlerweile auch erste Anlagen in Deutschland
- ▶ Hoher Investitionsaufwand
- ▶ Höheres Risiko
- ▶ Teurere Produktion
- ▶ Anfälligkeit für Fischkrankheiten
- ▶ Bei guter Betriebsweise niedrigste Emission/kg Fischproduktion
- ▶ Bei Grundwasserentnahme „Technische Anlage“

Diese Kreislaufsysteme setzen sich in Dänemark immer weiter durch. Grund dafür sind Umweltrestriktionen. Trotz höheren technischen Aufwands arbeiten die ersten Anlagen bereits wirtschaftlich.



Beispiel einer halbgeschlossenen Kreislaufanlage des „Dänischen Typs“. Kreislaufführung mittels Mammutpumpen, biologische Wasserreinigung.

Teilrezirkulation und ihre Grenzen

- ▶ Sauerstoff
- ▶ Kohlendioxid
- ▶ Ammonium
- ▶ Schwebstoffe
- ▶ Ablaufwasser



Die oben genannten Parameter sind begrenzende Faktoren bei der Kreislaufnutzung des Wassers.

Sauerstoff

- ▶ **Oberflächenbelüfter** (i.d.R. 6–8mg/l)
Pilz, Paddlewheel, Pumpen, HP-Förderer
gute Entgasung, Risiko bei Ausfall, relativ niedrige O₂-Gehalte, geringe Effektivität
- ▶ **Reinsauerstoffeintrag** (Sättigung möglich)
Druckbegasung, System „schwimmender ND-Begaser“
CO₂-Kontrolle erforderlich
Mess- u. Regelsysteme erforderlich
Geringeres Risiko
Höherer O₂-Gehalt senkt Risiko von Erkrankungen
Wirtschaftlichkeit

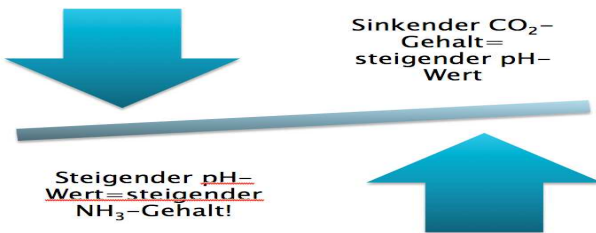
Sauerstoff als erster begrenzender Faktor kann auf unterschiedlichem Wege eingetragen werden. Damit verbunden sind die dargestellten Vor- und Nachteile.

Kohlendioxid

- ▶ Bei Einsatz von O_2 schnell kritische Werte (Brut: 8mg/l, Setzlinge 15–20mg/l)
- ▶ Steigender CO_2 -Gehalt senkt pH-Wert und damit Anteil von toxischem NH_3
- ▶ Zu starke Entgasung steigert dagegen den pH-Wert durch Austrag von CO_2
- ▶ Kontrolle erforderlich und führt zur Reduzierung von Kiemenproblemen und besserer Futterverwertung

Da Fische Kohlendioxid ausatmen und außerdem durch den Abbau organischen Materials im Teich Kohlendioxid entsteht, können leicht kritische Werte erreicht werden. Wenn der Gehalt im Wasser zu hoch ist, können die Fische das Stoffwechselendprodukt CO_2 nicht ausatmen und der Gehalt im Blut steigt an. Damit verbunden sind physiologische Schädigungen, die die Futterverwertung, das Wachstum und die Krankheitsanfälligkeit erhöhen (Kiemenschwellungen, Nephrocalcinose).

Einfluß der CO_2 -Entgasung



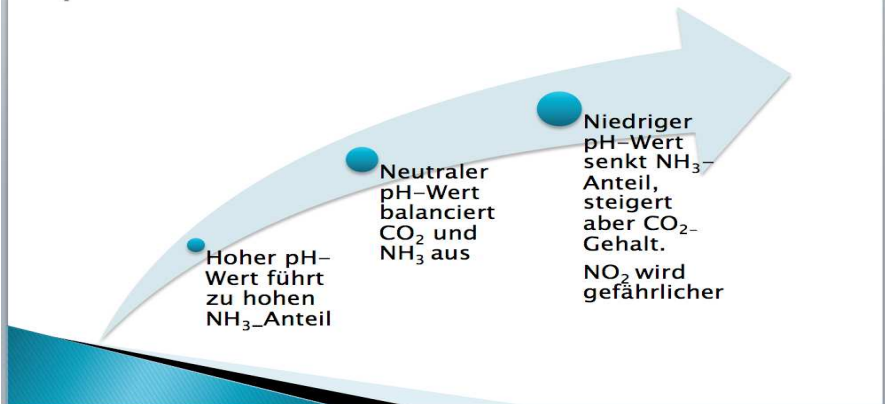
Durch Entgasung kann der CO_2 -Gehalt gesenkt werden. Der Gehalt an CO_2 hat jedoch Einfluss auf den pH-Wert und somit die Schädlichkeit von NH_4 (Anteil von NH_3 in NH_4 -Lösungen). Die Entgasung muss daher exakt überwacht werden.

Ammonium

- ▶ Stoffwechsel-Abbauprodukt (NH_3 toxisch ab 0,01 mg/l)
- ▶ NH_3 -Anteil abhängig vom pH-Wert
- ▶ Großteil über Kiemen ausgeschieden
- ▶ Abbau von Kot und Futterresten
- ▶ Da begrenzender Faktor, können reduzierende Maßnahmen die mögliche Produktionshöhe im Rezirkulationsbetrieb deutlich erhöhen

Ammoniak als limitierender Faktor kann durch den pH-Wert (Entgasung) beeinflusst werden. Eine große Rolle spielt aber auch die Entnahme von Kot sowie die Auswahl des richtigen Futtermittels (Protein/Fett-Verhältnis).

Futtermenge in Abhängigkeit vom pH-Wert im Teilkreislauf



Die Grafik zeigt den Einfluss des pH-Wertes auf die mögliche Futtermittelgabe (NH_3 -abhängig) und damit die Produktionshöhe sowie die Bedeutung der CO_2 -Kontrolle für die pH-Wertsteuerung.

Schwebstoffe

- ▶ Entstehung vor allem durch „zerschlagenen“ Kot
- ▶ Ursache für steigende Phosphorbelastung des Abflusses
- ▶ Nährsubstrat für unerwünschte Keime
- ▶ Belastung der Kiemen
- ▶ Zusätzliche Freisetzung von Ammonium

Schwebstoffe durch „zerschlagenen Kot“ führen zu einer deutlich höheren Wasserbelastung und sollten nach Möglichkeit vermieden werden. Einfluss haben hier wieder die Art der Teilkreislaufführung sowie das verwendete Futter.

Einfluß der Futterqualität

- ▶ Protein/Fettverhältnis
- ▶ Energie aus Kohlehydraten
- ▶ Futtermittelverwertung (Verdaulichkeit)
- ▶ Kotbeschaffenheit (Stabilität, Guar Gum)

- ▶ Forschung insbesondere im Hinblick auf geschlossene Kreislaufanlagen hinsichtlich Protein/Energie-Verhältnis und Kotstabilität (Bsp. Aller Circel)

Die Auswahl des richtigen Futters hat großen Einfluss auf Produktionshöhe und Wasserbelastung.

Einfluß des Futters auf Produktionshöhe im Teilkreislauf



Die Grafik zeigt, dass durch die Auswahl des richtigen Futters mit einem niedrigen Protein/Zuwachs-Verhältnis die Menge an ausgeschiedenem Ammonium beeinflusst werden kann. Damit steigt die mögliche Produktionshöhe in Abhängigkeit von der Wassermenge. (FCR = Futterquotient, Angabe in Klammer = Menge an eingesetztem Protein in kg je kg Zuwachs)

Technische Möglichkeiten zur mechanischen Reinigung

- ▶ Kot-Sedimentationszonen
- ▶ Schlammtrichter
- ▶ Trommelfilter
- ▶ Kot-Schnecke

- ▶ Entscheidend sind: möglichst geringe Zerschlagung der Partikel und die weitestgehende Sedimentation

Eine Vielzahl von Methoden zur Abscheidung von Kot hat sich bewährt. Da viele Anlagen schon lange bestehen, muss bei der Nachrüstung nach der Variante gesucht werden, die sich am besten einpassen lässt.

Kot-Sedimentationszonen



Klassische Sedimentationsfallen finden sich in Fließskanalanlagen.

Schlammtrichter



Die neuen dänischen halbgeschlossenen Kreislaufanlagen nutzen in der Regel Schlammtrichter.

Trommelfilter



Verbreitet sind auch in Dänischen Kreislaufanlagen Trommelfilter.

Kot-Schnecke (Pflanzer)



Eine neue Methode ist die Verwendung von Kotschnecken, bei denen deutlich weniger Wasser entnommen wird.

Teilrezirkulation FZ Troststadt



Luftbild Forellenzucht Troststadt



Kernstück der Kreislaufführung in der Satzforellen-Beckenanlage ist die Pumpanlage, die Wasser umwälzt. Dabei wird über die Stufenkaskade CO_2 entgast und das Wasser wieder mit O_2 angereichert. Gasförmiges NH_3 kann entweichen. Wichtig ist, dass absetzfähige Stoffe vor dem Umpumpen abgeschieden werden.

Voraussetzungen

- ▶ Bau der Anlage 1986
- ▶ Bruthaus (Zuger Gläser)
- ▶ Rinnenanlage
- ▶ Erdteichanlage
- ▶ Übernahme der Anlage 1991 mit nachfolgenden Investitionen
- ▶ Wasser: 50–100l/sec. Quellwasser
- ▶ Produktionssteigerung auf über 3.000kg/l*s Jahresproduktion

Die Forellenzucht Troststadt wurde bereits 1986 gebaut. Die Maßnahmen zur erfolgreichen Teilkreislaufnutzung musste in das bestehende System eingepasst werden.

Wasserkonditionierung CO₂



Der hohe CO₂-Gehalt des Speisungswassers macht eine Entgasung über Sessil (hängende Plastikstreifen) erforderlich.

Kot-Sedimentation – Bruthaus



Bereits im Bruthaus wird mit geringen Durchlaufwassermengen bei Sauerstoffanreicherung gearbeitet. Damit ist eine fast 100 %ige Separierung des Kotes möglich. Unterstützt wird dies durch das Fütterungsregime mit Kleinmengen alle 10 Minuten.

Kot-Sedimentation Rundbecken



Auch in der Rundbeckenanlage wird über die Sedimentationsbecken fast 100 % des Kotes abgeschieden. Auch hier unterstützt die Gabe kleiner Mengen von Futter alle 10 Minuten das Sedimentationsverhalten. Die Sauerstoffanreicherung des Wassers reduziert die erforderliche Durchlaufwassermenge auf weniger als 25 % bei ständig 100 % Sauerstoffsättigung.

Kot-Sedimentation Rinnenanlage



Wie in Fliesskanalanlagen hat jedes Becken einen Sedimentationsbereich. Die Sauerstoffanreicherung ermöglicht die Reduzierung der Strömungsgeschwindigkeit. Die Verabreichung kleiner Futtergaben alle 10 Minuten fördert die Sedimentation und Abscheidung des Kotes. Damit wird kein Kot rezirkuliert und das in die Teichanlage ablaufende Wasser ist deutlich weniger belastet.

Kot-Falle Teichanlage



Die Teichanlage ist gekennzeichnet durch geringe Durchströmung. Damit kann entstehender Kot nicht wie in Fliesskanälen abtransportiert werden. Die Basaltpackung fungiert hier als Kotfalle. Nach Abfischen der Teiche wird die Steinpackung ausgewaschen. Durch die Steinschüttung können Fische Kot nicht aufwirbeln und die Oberfläche ist im Verhältnis zum Volumen deutlich reduziert. Außerdem bildet die Oberfläche der Steine ein Substrat für nitrifizierende Bakterien.

Trommelfilteranlage Ablauf



Das aus der Teichwirtschaft abfließende Wasser wird generell durch eine Trommelfilteranlage mechanisch gereinigt.

Sedimentation–Fließgeschwindigkeit

- ▶ Einsatz von Reinsauerstoff reduziert Fließgeschwindigkeit
- ▶ Bruthaus: 200% Sättigung im Zulauf
- ▶ Rundbecken: 400% Sättigung
- ▶ Rinnenanlage: 125% Sättigung
- ▶ Teichanlage: 10l/s für je 450m³

Die Übersicht zeigt die Sauerstoffgehalte, die in der Forellenzucht Troststadt zur Fließgeschwindigkeitsreduzierung verwendet werden, um die Sedimentation zu erleichtern.



Die Bilder zeigen die unterschiedlichen Sauerstoffanreicherungssysteme. Die Versorgung der Brutbecken (oben links) erfolgt über ein „Jetsystem“, das modifiziert wurde, um eine Sättigung von 200 % zu erreichen. Das System arbeitet stromunabhängig. In der Beckenanlage (oben rechts) wird zusätzlich zum Umpumpen des Wasser Reinsauerstoff über ein Drucksystem zugeführt. In der Teichanlage (unten rechts) werden Oberflächenbelüfter FAS eingesetzt, in denen eine Trommel Wasser und Sauerstoff vermischt. Der Einsatz von elektrischer Energie ist gering. Die Überwachung und Steuerung des Sauerstoffgehaltes erfolgt unter Nutzung der LDO-Technologie (unten links), die zuverlässiger als die galvanische Messung arbeitet.

Fütterungstechnologie

- ▶ Häufige Fütterungen (alle 10 min kleine Rationen über den Tag verteilt
- ▶ Größtmögliche Abdeckung der Oberfläche mit Futter
- ▶ Einsatz von Hochenergiefutter bei restriktiver Fütterung nach eigener Tabelle
- ▶ Erprobung von Kreislauf-Futter (Aller Circel)

Die Fütterungstechnologie hat deutlichen Einfluss auf die Belastung des Wassers und damit die Produktionshöhe.



Die Steuerung der unterschiedlichen Fütterungssysteme erfolgt automatisch. Alle Einheiten erhalten im 10-Minuten-Abstand Futter. Wichtig dabei ist eine bestmögliche Verteilung.

Kontrolle der Fischgesundheit

- ▶ Nur Zukauf von SPF-Forelleneiern
- ▶ Quellwasser, fischfrei
- ▶ Strenge Zugangskontrolle
- ▶ Rein-Raus-Prinzip
- ▶ Regelmäßige Wasserdesinfektion
- ▶ 100% Sauerstoffsättigung in allen Becken, Messung und Regelung
- ▶ Regelung des CO₂-Gehaltes
- ▶ Anpassung der Futtermenge an Wasser

Bei der intensiven Produktion ist es erforderlich, nur mit absolut krankheitsfreiem Besatzmaterial zu arbeiten. Hier kommen nur SPF-Forelleneier zum Einsatz. Alle Regeln einer hygienischen Aufzucht müssen peinlich genau eingehalten werden. Die Kontrolle aller Wasserparameter ist absolut notwendig.

Zusammenfassung

- ▶ Teilrezirkulation mit mechanischer Reinigung ist derzeit die effektivste Methode zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit wie der Umweltverträglichkeit
- ▶ Bedingung für den Erfolg sind:
 - Kontrolle der Wasserqualität (O₂, CO₂, NH₃, pH)
 - Spezifisch pathogenfreier Besatz
 - Rein-Raus-Prinzip
 - Fütterungstechnologie und Futterqualität
 - Effektive Entfernung des Kotes (Sedimentation u. Verwertung)
 - Mess- u. Regeltechnik, Havarieabsicherung

Teilrezirkulation mit mechanischer Reinigung ist die derzeit effektivste Methode bei der Forellenzucht in Deutschland. Dabei sind die o. g. Bedingungen aber zu beachten.

Kreislauftechnologie: Was ist in Deutschland möglich?

Helmut Wedekind

Zusammenfassung

Die intensive Fischproduktion in Kreislaufanlagen (KLA) wird in Deutschland bereits seit mehr als 25 Jahren praktiziert. Erste Produktionsanlagen entstanden bereits in den frühen 1980er Jahren mit dem Ziel der kontrollierten und jahreszeitlich unabhängigen Produktion hochpreisiger Fischarten. In den Folgejahren und –jahrzehnten kam es zu mehreren, sog. Wellen von Betriebsgründungen, die vielfach durch Fördermittel begünstigt wurden. In vielen Fällen kam es bereits nach einer kurzen Betriebsdauer von wenigen Jahren zu einer Schließung der Anlagen, da zumeist die Betriebskosten höher als erwartet waren und die Produktionsleistung nicht erreicht werden konnte. Nur wenige Anlagen konnten in der Folge durch Neugründung, umfangreiche Umbauten und Nachinvestitionen zur Funktionsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit weiterentwickelt werden.

Auch nach den technologischen Fortschritten der vergangenen Jahre ist die Wirtschaftlichkeit von KLA nicht immer gegeben, zumal häufig am Markt nicht etablierte Fischarten erzeugt werden. Zur Erreichung einer wirtschaftlichen Fischzucht in KLA kommt der gleichmäßigen Fischproduktion auf höchstem Qualitätsniveau in

Verbindung mit guten Absatzmöglichkeiten und einem erfolgreichen Marketing die entscheidende Bedeutung zu.

Einleitung

Kreislaufanlagen (KLA) zur Fischzucht werden bereits seit einigen Jahrzehnten in Deutschland entwickelt und wissenschaftlich begleitet. Dabei handelt es sich um Anlagen, die in Gebäuden installiert werden und in der Regel mit Warmwasser (23 - 26°C) betrieben werden. Grundidee dieser Technologie ist die Mehrfachnutzung des Wassers im sog. Vollkreislauf, bei dem täglich weniger als 10 % des Produktionsvolumens durch Frischwasser ersetzt werden (Rezirkulationsrate > 90 %). Die Anlagen wurden in der Vergangenheit insbesondere zur Erzeugung von Satzfishen, Speisefischen und auch von Zierfischen aufgebaut. Die in eingehausten Anlagen mögliche, hohe Wassertemperatur war bei der Entwicklung ein wichtiges Argument, da die wechselwarmen Fische unter Warmwasserbedingungen ganzjährig ihre maximale Wachstumsleistung erbringen können. Zu Beginn der achtziger Jahre beschäftigte man sich insbesondere im Hinblick auf die Erzeugung hochpreisiger Fischarten, wie z. B. Aal, mit der Kreislaufanlagentechnologie. Die im Vergleich zu Durchlaufanlagen erhebliche Wasserersparnis führt insbesondere zu einer erheblichen Einsparung bei den Heizkosten, da das aufgeheizte Wasser länger in der Anlage verweilt.

Im Vergleich zu anderen Produktionsverfahren nimmt sich die Fischproduktion in Kreislaufanlagen in Deutschland allerdings gering aus. Während in Durchlaufanlagen der Forellenteichwirtschaft fast 24.000 t Fisch pro Jahr erzeugt wird und die Karpfenteichwirtschaft inklusive Nebenfischen mehr als 15.000 t pro Jahr hervorbringt, ist die Fischproduktion in Kreislaufanlagen mit 1.073 t im Jahr 2006 eher gering (Brämick 2007). Bezogen auf das Gesamtproduktionsvolumen von 40.168 t macht die Fischzucht in Kreislaufanlagen lediglich 2,67 % aus. Zudem ist festzustellen, dass die jährliche Produktion aller Kreislaufanlagen in Deutschland erheblichen Schwankungen unterworfen ist. Aufgrund zahlreicher Betriebsaufgaben und Neugründungen können die Produktionszahlen in aufeinanderfolgenden Jahren um mehr als 50 % schwanken.

Prinzip von Kreislaufanlagen

Ein grundlegender Unterschied von Kreislaufanlagen (KLA) zu anderen traditionellen Verfahren der Fischzucht ist der Einbau in Gebäude. Die Anlagen bestehen in der Regel aus einem Fischhaltungsteil, der mit Zu- und Ableitungen verbunden ist. Weitere Elemente sind die Kreislaufpumpe (bzw. ein Luftantrieb), die mechanische Filterung (Feststoffabscheidung), der biologische Filter sowie verschiedene Einbauten zur Wasserkonditionierung (pH-Wert-Regulierung, Sauerstoffanreicherung, Entgasung, Keimreduzierung, Heizung). Prinzipiell lassen sich dabei zwei verschiedene Bauformen von Kreislaufsystemen unterscheiden:

Ein bereits seit Mitte der achtziger Jahre bekanntes Verfahren ist das Kreislaufsystem mit integrierter Filtereinheit. Kennzeichnend ist der Einbau eines getauchten Biofilters (Festbett), der mittels Belüftung unter Nutzung des Air-Lift-Prinzips vom Wasser durchströmt wird. Das aus dem Biofilter oberflächlich austretende Wasser durchströmt die Fischbecken in einer walzenförmigen Strömung und steht somit den Fischen gereinigt und mit Sauerstoff angereichert zur Verfügung. Der Ablauf erfolgt bodennah über eine unterhalb des Biofilters gelegene Absetzkammer, wo sich die Feststoffe absetzen (Sedimentation). Diese werden in einem separaten Arbeitsschritt manuell oder auch automatisch abgesaugt. Nach Passage der Absetzkammer wird das zirkulierende Wasser von den Belüftern erfasst und erneut vertikal durch den Biofilter befördert. Bei dieser Anlagenkonstruktion handelt es sich um eine relativ einfache, besonders Energie einsparende Technologie, da das Wasser kaum Höhenunterschiede zu überwinden hat und der Antrieb ausschließlich mit Druckluft erfolgen kann. Derartige Anlagen können bei Bedarf mit zusätzlichen Einbauten zum Reinsauerstoffeintrag, zur UV-Entkeimung und/oder zur Ozonanreicherung ausgestattet werden. Durch seine kompakte Bauweise ist dieses Prinzip leicht nachträglich in vorhandene Gebäude einzubauen. Dabei werden häufig mehrere Becken mit integriertem Filterteil hintereinander geschaltet und zu Modulen (Blöcken) zusammengefasst. Dieser modulare Aufbau ist vorteilhaft im Hinblick auf die Seuchenhygiene und das Bestandsmanagement.

Ein weiteres Bauprinzip von Kreislaufanlagen ist das System mit separaten Fischbecken und externer Filtereinheit. Diese Anlagen gibt es in verschiedenen Größen und Anordnungen. Sie bestehen immer aus zahlreichen parallel geschalteten Fischbecken, deren ablaufendes Wasser mittels Sammelleitung zu einem zentralen mechanischen Filter zur Feststoffentfernung geleitet wird. Dieser mechanische Filter besteht häufig aus einem Siebtrommelfilter und/oder einer Sedimentationsvorrichtung. Das mechanisch gereinigte Wasser gelangt in einen Pumpensumpf und wird von dort in die zentrale Biofilterstufe gepumpt. Der Biofilter kann aus einem konventionellen Tropfkörper, einem Upflow-Festbettfilter oder auch einem Wirbelbettreaktor bestehen. Häufig werden auch mehrere dieser Einheiten kombiniert. Das biologisch gereinigte und entgaste Wasser wird nach der weiteren Aufbereitung (Sauerstoffanreicherung, u. U. Beheizung) zurück in die Fischbecken gefördert. Vorteil dieses Anlagenprinzips ist die variable Ausgestaltung hinsichtlich Beckenformen und -größen sowie die Möglichkeit zum Umbau bzw. zur Erweiterung der Anlage. Modulare Anordnungen in parallelen Kreisläufen (Blöcken) sind möglich und in der Praxis häufig. Nachteilig an diesem Verfahren ist die insbesondere bei Tropfkörpern zu überwindende Förderhöhe, die einerseits energieaufwendig ist und andererseits auch bauliche Anforderungen an die Räumlichkeiten (Raumhöhe) stellt.

Fischarten für Kreislaufanlagen

Wie bereits erwähnt, wurde die Entwicklung der KLA in den achtziger und neunziger Jahren insbesondere für hochpreisige Fischarten, wie z. B. Aale, vorangetrieben. Europäische Aale haben allerdings den Nachteil, dass sie nicht in allen Teilen ihres Lebenszyklus kultiviert werden können und deren Reproduktion in der Aquakultur derzeit nicht möglich ist. Aus diesem Grund muss wild gefangenes Satzfischmaterial (Glasaale) eingesetzt werden, das nicht immer preiswert verfügbar ist. Inwieweit sich die neue EU-Aalverordnung in diesem Zusammenhang erschwerend für die Produktion auswirken wird, bleibt abzuwarten.

Eine weitere Fischgruppe, die häufig in KLA produziert wird, sind Welse. Neben dem Europäischen Wels (*Silurus glanis*), der sich auf Grund seiner Toleranz gegenüber hohen Besatzdichten sowie seiner günstigen Produkteigenschaften (helles Filet), gut für die Aufzucht in diesen Intensivanlagen eignet, werden vor allem international verschiedene tropische Welsarten in KLA gezüchtet. Besonders zu erwähnen ist in diesem Zusammenhang die v. a. in den Niederlanden praktizierte Produktion von *Clarias gariepinus* und anderen Welsen aus der Gruppe der *Clariidae* (z.B. *Heterobranchus* spp. sowie Hybriden), die sich durch ihre allgemeine Robustheit und vor allem durch ihre Fähigkeit atmosphärische Luft zu atmen, auszeichnen. Zudem sind diese wärmeliebenden Welse in der Lage, außerordentlich hohe Wachstumsleistungen zu erbringen: Vom 8 -

10 g schweren Setzling heran können sie unter Warmwasserbedingungen innerhalb von drei bis vier Monaten zu einem Schlachtgewicht von 1 kg heranwachsen. Weitere in Kreislaufanlagen aufgezogene Fische sind z. B. Störartige (*Acipenser* spp.), die ebenfalls unter den Warmwasserbedingungen überraschend hohe Wachstumsraten aufweisen können (in einem Jahr bis zu 3 kg Zuwachs). Trotz guter Eignung dieser Fische für Kreislaufanlagen hat sich jedoch herausgestellt, dass die Produktion von Speisefischen wenig wirtschaftlich ist, weshalb sich in den letzten Jahren verschiedene Anlagen auf die Produktion von Kaviar konzentriert haben.

Weitere in Kreislaufanlagen erzeugte Fische sind verschiedene Arten aus der Familie der Barschartigen (Perciden), wie z. B. Tilapia, Zander und Streifenbarschhybriden. Ihre Erzeugung hat sich in Deutschland bisher allerdings noch nicht durchgesetzt, obwohl gerade beim Zander in den letzten Jahren vielversprechende technologische Fortschritte erzielt wurden (z. B. Heidrich & Zienert 2005) und sehr gute Marktperspektiven gegeben sind.

Vor- und Nachteile von Kreislaufanlagen

Die bisher noch relativ geringe Verbreitung von Kreislaufanlagen innerhalb der deutschen Aquakultur ist bedingt durch verschiedene Besonderheiten. Zunächst sollen die Vor- und Nachteile dieser Technologie betrachtet werden (Wedekind 2001):

Die Wasserersparnis im Vergleich zu anderen Verfahren der intensiven Aquakultur stellt einen unbestreitbaren Vorteil dieser Technologie dar. Gerade im Hinblick auf die Ressourcenschonung kommt der KLA ein besonderer Stellenwert für wasserarme Standorte zu. Fischzucht in Kreislaufanlagen ist zudem weitgehend flächenunabhängig und sehr platzsparend. Sie kann z. B. auch auf mehreren Etagen in Gebäuden erfolgen.

In KLA lassen sich durch die bereits prinzipiell dargestellte Technik physiologisch optimale Haltungsbedingungen für die jeweils aufgezogene Fischart herstellen (Temperatur, Sauerstoffgehalt etc.), d. h. die Fische können gleichmäßig und von der Jahreszeit unabhängig abwachsen. Darüber hinaus sind diese weitgehend geschlossenen Anlagen vorteilhaft im Hinblick auf die Gefahr der Einschleppung von Krankheitserregern aus der Umgebung.

Als Nachteil von KLA ist der hohe Kapitalbedarf anzuführen. Die in Gebäuden aufwendig installierten Systeme erfordern einen erheblichen Investitionsaufwand und der laufende Betrieb ist von hohen Betriebskosten gekennzeichnet. Bedingt durch die Aufrechterhaltung hoher Wassertemperaturen besteht ein im Vergleich zur Fischzucht in Teichen erheblicher Energiebedarf, allerdings zeigt die Erfahrung vom Betrieb geschlossener Anlagen, dass diese Kostenposition weit hinter anderen zurücksteht.

Hinsichtlich der Produktionsleistung haben sich diese Fischzuchtanlagen in der Vergangenheit als unsicher herausgestellt, was einerseits oftmals technische Gründe hatte, aber andererseits auch oftmals vom Management, d. h. insbesondere von der Qualifikation des Personals abhing.

Als weiterer Nachteil lässt sich anführen, dass die in KLA aufgezogenen Fischarten bzw. Produkte oftmals in der produzierten Menge nicht absetzbar sind. Insbesondere bei der Produktion von am Markt unbekanntem, nicht etablierten Fischen sind im Vorfeld Marktuntersuchungen und Produktpassungen (Endgewicht, Fleischqualität, u. U. Verarbeitung und Produktentwicklung) sowie erhebliche Marketingaktivitäten (Werbung) erforderlich (Jäger 1992).

Nachfolgend soll der Versuch unternommen werden, die Besonderheiten und auch die Schwierigkeiten beim Betrieb von KLA näher zu beleuchten. Im Unterschied zur Aquakultur in Teichen oder durchflossenen Anlagen, handelt es sich bei den Kostenfaktoren zumeist um fixe Kosten. Abgesehen vom Satzfishbedarf und den verbrauchten Futtermengen, sind die Aufwendungen für Personalkosten, Energie, Wasser und andere Betriebsmittel relativ unabhängig von der produzierten Fischmenge bzw. vom Besatz. Der Betrieb derartig aufwendiger, eingehauster Anlagen erfordert einen stetig hohen Energieeinsatz, damit die optimalen Produktionsvoraussetzungen aufrecht erhalten werden können. Daher ergibt sich

für KLA im besonderen Maße eine Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit von einer maximalen Auslastung und Produktionsleistung. Bei stetig hohen Kosten ist der Betreiber auf eine stets am Maximum orientierte Fischproduktion und auf einen kontinuierlichen Absatz angewiesen.

Diese betriebswirtschaftlichen Zusammenhänge wurden erstmalig von Koops (1991; Koops & Koops 1997) wissenschaftlich untersucht. Die Autoren verglichen die Kosten- und Erlössituation einer 50 t Aal-Kreislaufanlage im Hinblick auf die geplanten und erreichten Zahlen. Sie konnten nachweisen, dass die erreichten Kosten häufig in der Planung unterschätzt wurden. Zusammen mit unvorhergesehenen, zusätzlichen Ausgaben ergab sich daraus eine erhöhte Ausgabensumme im Produktionsjahr. Im Gegensatz dazu, war bei der Anlagenplanung von zu optimistisch geschätzten Verkaufserlösen für die produzierten Fische ausgegangen worden. Im Ergebnis wurde festgestellt, dass der erreichte Erlös kaum zur Deckung der angefallenen Kosten für den Betrieb der KLA ausreichte, während in der Planung im Vorfeld des Anlagenbetriebs ein erheblicher Gewinn ausgewiesen wurde.

Einen Vergleich zwischen geplanter und erreichter Produktionsleistung von KLA in Deutschland stellte auch Simon (2002) an. Im Rahmen einer Befragung stellte er fest, dass von den damals in Deutschland existierenden 17 Anlagen lediglich vier die geplante

Produktionsleistung erreichen, eine dieser Anlagen konnte sogar eine erhebliche Mehrleistung berichten. Alle anderen KLA wiesen im Befragungsjahr eine zum Teil deutliche Minderleistung auf.

Die genannten Probleme der Kostenunterschätzung und nicht erreichter Produktionsziele waren bei zahlreichen KLA die Ursachen für eine geradezu zwangsläufige, ungünstige betriebliche Entwicklung von der Inbetriebnahme an. Die Betrachtung einer Vielzahl von Anlagen der vergangenen 20 Jahre zeigt bei vielen bereits Störungen während der Anlaufphase. Häufig kamen direkt nach Inbetriebnahme Unzulänglichkeiten im Hinblick auf die Dimensionierung und Konstruktion der Anlagen zu Tage. Nach der technischen Anlaufphase ist es häufig aufgetreten, dass die Satzfische zum Aufbau des ersten Produktionszyklus nicht in ausreichender Menge und Qualität zur Verfügung standen. Darüber hinaus erwies sich die Anlaufphase auch im Hinblick auf die biologischen Prozesse problematisch, da in dieser Zeit der biologische Filter eingefahren werden muss, wobei häufig schwankende Umweltbedingungen für die Fische auftreten (Stress durch Stickstoffverbindungen und pH-Schwankungen). Krankheitsausbrüche sind insbesondere beim Zusammensetzen verschiedener Satzfishchargen häufig. Die Folge einer gestörten Anlaufphase ist die diskontinuierliche Produktion von Fischen, d. h. in den ersten Monaten und Jahren kommt es zumeist zu erheblichen Mengenschwankungen der produzierten Fische. Damit verbunden sind

Qualitätsprobleme im Hinblick auf die Verfügbarkeit angestrebter Stückmassen, der Sortierungen und damit auch der Bereitstellung für den Markt. Diese oftmals noch ungünstigen Wachstumsergebnisse aus der Fischzucht in Kreislaufanlagen führten in der Vergangenheit gerade in den ersten Jahren zu erheblichen Absatzproblemen, verursacht durch die schlechte Lieferfähigkeit. Der damit verbundene, unregelmäßige Abverkauf der produzierten Fische hat dann zusätzlich negative Auswirkungen auf das Bestandsmanagement und den Produktionsablauf. Nicht nur durch die diskontinuierliche Produktion, sondern auch durch gerade am Anfang auftretende Schwankungen in der Umweltqualität kommt es oft zu weiteren Qualitätsproblemen bei den Fischen (Wedekind 1991). Häufig sind die Bestände auseinander gewachsen, z. T. überaltert und stellen insofern keine gleichmäßige Fischqualität im Hinblick auf die Ausschachtung und die Fleischbeschaffenheit dar – was sich insbesondere beim Versuch der Einführung neuer Produkte am Markt fatal auswirken kann.

Auch in der Produktionsphase traten in der Vergangenheit bei vielen KLA verschiedene produktionstechnische Probleme auf. Bei vielen Projekten wurden erst bei Volllastbetrieb Minderleistungen der Filteranlage festgestellt und es traten unerwartete Havarien auf. Selbst wenn Totalausfälle am Fischbestand die Ausnahme waren, so konnte dennoch die geplante Produktionsleistung häufig nicht erreicht werden.

Eine Vielzahl Störungen beim technischen und biologischen Anlagenbetrieb führen dadurch in aller Regel zu erheblichen Erlöseinbußen, d. h. den kontinuierlich hohen Kosten beim Betrieb stehen geringe, unterhalb der Plangrößen ausfallende Erlöse gegenüber. Direkte Folge dieser Entwicklung sind wirtschaftliche Probleme beim Betrieb der KLA und häufig die Notwendigkeit erheblicher, ungeplanter Investitionen zur Optimierung der Technik – bis hin zum grundlegenden Umbau der Anlage. Häufig ist es erforderlich, zusätzlich in den Bereich der Qualitätsproduktion (Hälterung, Bearbeitung) und Vermarktung von Fischen zu investieren. In der Vergangenheit kam es in diesem Stadium nach einer Betriebsdauer von zwei bis drei Jahren in vielen Fällen entweder zu einem völligen Neustart der Fischproduktion oder auch zur Schließung der Anlage.

In Abbildung 1 sind die seit etwa 1985 eröffneten KLA nach eigenen Recherchen zusammenfassend dargestellt. Es ist erkennbar, dass die Gründung derartiger Produktionsstätten in den Jahren 1986 bis 1989 einen Boom erfuhr. In dieser Zeit befand sich diese Technologie noch in seiner sehr frühen Entwicklungsphase, was u. a. daran deutlich wurde, dass viele dieser Anlagen keine lange Lebensdauer aufwiesen. Häufig wurden sehr kleine (5 – 30 t Jahresproduktion) Anlagen für Aale und Welse errichtet. Diese entstanden häufig auf landwirtschaftlichen Betrieben in vorhandenen Gebäuden („Aale im Kuhstall“, „Welse vom Bauernhof“, „Schweine raus – Fische rein“). In den Jahren zwischen 1988 und 1994 stellten nahe-

zu alle diese Anlagen ihren Betrieb ein. Als Ausnahmen von dieser Regel haben einige wenige Anlagenbetreiber durchgehalten und es in den Folgejahren geschafft, die damals technisch noch nicht ausgereiften Systeme weiter zu entwickeln und zu erfolgreichen Systemen umzubauen. Aus dieser Zeit sind einige heute noch produzierende, führende Kreislaufanlagen (z. B. in Niedersachsen: Aal und Wels) hervorgegangen.

Eine zweite Welle von KLA begann in den Jahren 1996 - 1997 und erreichte ihren Höhepunkt in den ersten Jahren nach der Jahrtausendwende. Im Gegensatz zum Boom Mitte der achtziger Jahre waren die Anlagen dieser Zeit größer dimensioniert, z. T. recht aufwändig gebaut und hatten eine höhere Jahresproduktion zum Ziel. Zumeist wurden sie mit EU-Fördermitteln errichtet. Neben den bereits erwähnten Fischarten Aal und Wels kamen Störe und verschiedene Barschartige hinzu. Etwa ab dem Jahr 2003 kam es auch bei den meisten dieser Anlagen zum wirtschaftlichen Zusammenbruch, sodass in den Folgejahren wiederholt Schließungen von Kreislaufanlagen vorkamen.

Seit 2007 befinden wir uns offenbar in einer dritten Welle von KLA-Gründungen. Insbesondere im Zusammenhang mit dem Aufbau von Biogasanlagen entstehen Warmwasserkreislaufanlagen, die die Abwärme aus der alternativen Energieerzeugung verwerten sollen. Motivation für die Energiewirte zum Einstieg in die Fischproduktion

ist dabei, insbesondere, dass die Stromvergütung nach dem Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) höher ist, wenn ein Abwärmenutzungskonzept vorgewiesen wird. Die Fischzucht in kreislaufbetriebenen Warmwasseranlagen bietet sich in diesem Zusammenhang als Alternative an. Dabei kommt im Prinzip eine bereits seit den späten achtziger Jahren bekannte und mittlerweile vor allem in den Niederlanden bewährte Technologie zum Einsatz: Produziert werden die bereits oben erwähnten Afrikanischen Welse (*Clarias garipinus*), die sich als besonders tolerant gegenüber hohen Besatzdichten und sehr schnellwüchsig erwiesen haben. Bemerkenswert an dieser Entwicklung ist jedoch die Tatsache, dass die in den Niederlanden seit über 20 Jahren stattfindende Welsproduktion inzwischen von über 4.000 t auf kaum mehr als 2.200 t gesunken ist, da die am europäischen Markt erreichbaren Absatzpreise derzeit unter den Erzeugungskosten liegen. Letztere liegen nach Scheerboom & Doreen (2005) bei 1,30 bis 1,40 EUR/kg, während die aktuellen Absatzpreise in den Niederlanden kaum 1,10 EUR/kg ausmachen. Inwieweit die in Deutschland derzeit entstehende Produktion von mehreren 100 bis 1.000 t Afrikanischen Welsen pro Jahr gewinnbringend absetzbar sind und zu einer nachhaltigen Produktion führen, bleibt daher abzuwarten.

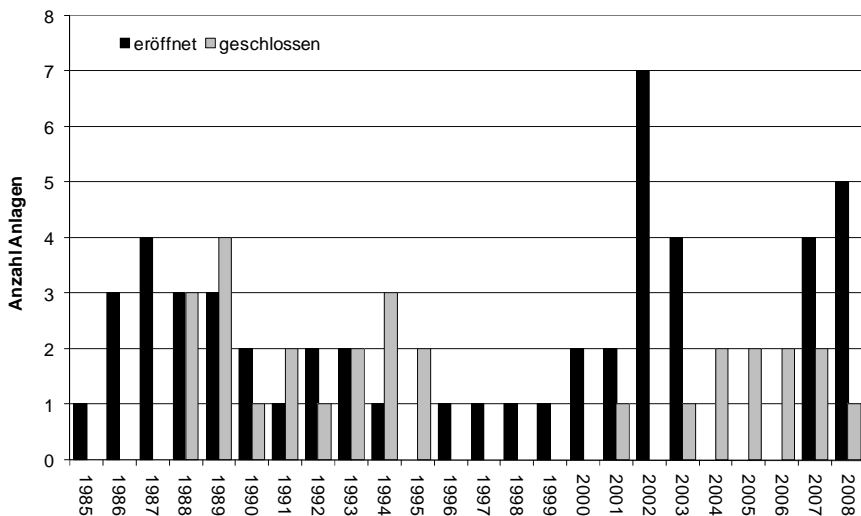


Abb. 1: Eröffnete und wieder geschlossenen Kreislaufanlagen in Deutschland 1985 - 2008

Fazit

Fischzucht in Kreislaufanlagen stellt demnach in Deutschland eine bereits seit vielen Jahrzehnten erprobte Technologie dar. Im Vergleich zu den ersten Kreislaufanlagen, die häufig noch nicht technisch ausgereift waren, verfügen wir in der heutigen Situation über verschiedene technologische Verbesserungen. Es fanden Entwicklungen bei der biologischen Filterung (Filtermaterial), energieeffizienten Pumpen, moderner Fütterungsautomatik und Überwachungstechnik statt. Aus den gemachten Erfahrungen zum Anlagenbetrieb ergeben sich folgende Empfehlungen bzw. Voraussetzungen für den wirtschaftlichen Betrieb von KLA (Wedekind 1998):

1. Möglichst schnelle Überwindung der Einlaufphase (Anlagenauslastung erreichen).
2. Schaffung und Aufrechterhaltung eines hohen Haltebestandes mit günstiger Altersstruktur.
3. Maximale und kontinuierliche Produktion (höchste Produktivität).
4. Einführung eines Qualitätsmanagements.
5. Aktives Marketing mit dem Ziel einer kontinuierlichen und hochpreisigen Vermarktung.

Darüber hinaus ist gegenüber den 1980er und 90er Jahren eine erhebliche Veränderung der Marktsituation für Fische festzustellen. Gestiegene Seefischpreise haben dazu geführt, dass Aquakulturprodukte mittlerweile konkurrenzfähig sind und – vor allem aus internationaler Produktion – teilweise sogar preiswerter als Seefisch angeboten werden können. Diese Entwicklung liegt insbesondere an der zunehmenden Aquakultur an klimatisch begünstigten Produktionsstandorten (z. B. Norwegen, Chile, Südostasien). Daher ist für die inländischen Fischproduzenten das Angebot an billigen Konkurrenzprodukten aus dem Ausland zu beachten.

Ein Argument für die Investition in eine KLA ist für viele Interessenten offenbar die Möglichkeit einer finanziellen Bezuschussung dieser Produktion durch staatliche Fördermittel. Neben einer Förderung aus dem Fischereibereich (z. B. EFF), die jedoch in den verschiedenen Bundesländern unterschiedlich gehandhabt wird, ist die

Beantragung z. B. beim Agrarinvestitionsförderprogramm und anderen Programmen möglich. Die Erfahrungen der Vergangenheit führen jedoch zur Empfehlung, dass die Wirtschaftlichkeit einer KLA stets auch ohne die Einbeziehung von Fördermitteln gegeben sein sollte.

Zusammenfassend betrachtet kommt der Wirtschaftlichkeit der Fischzucht in KLA die zentrale Bedeutung für die Einsetzbarkeit dieser Technologie zu. Es ist unumstritten, dass in Deutschland an vielen Standorten Fischzucht in Kreislaufanlagen möglich ist. Dies zeigt auch die Rückschau auf frühere Projekte mit Anbindung von KLA an Kraftwerke, Müllverbrennungsanlagen usw. Der wirtschaftliche Erfolg dieser Anlagen hängt jedoch maßgeblich von der Produktionstechnologie, dem nachhaltigen Produktionserfolg und den damit verbundenen Kosten ab. Darüber hinaus ist zu beachten, dass die Fischproduktion direkt marktabhängig ist. Neben einer funktionierenden Technik ist bei diesem kapitalintensiven und aufwändigen Verfahren ein erfolgreiches Marketing mit gewinnbringendem, regelmäßigem Absatz der erzeugten Fische und Fischprodukte die wichtigste Voraussetzung für den nachhaltigen wirtschaftlichen Erfolg. Bei neuen KLA-Projekten sollten die Erfahrungen der Vergangenheit analysiert und berücksichtigt werden.

Literatur:

- Brämick, U.** (2007): Jahresbericht der Deutschen Binnenfischerei 2006. Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft.
- Heidrich, S. und Zienert, S.** (2005): Aufzucht von Zandern in der Aquakultur. Schriften des Instituts für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow (Hrsg.), Bd. 18.: 60 S.
- Jäger, G.-L.** (1992): Entwicklung einer Marketingkonzeption für Warmwasserzuchtfische in der Bundesrepublik Deutschland. Dissertation Universität Göttingen, Wissenschaftsverlag Vauk Kiel KG, 161 S.
- Koops, H.** (1991): Zur Problematik von Kreislaufanlagen in der Fischzucht. Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Heft 402: 90 S.
- Koops, A. und Koops, H.** (1997): Kommt eine neue Welle von Kreislaufanlagen? Arbeiten des Deutschen Fischerei Verbandes 69: 27-45.
- Scheerboom, J. und v. Doreen, J.** (2005): De Economie van het Viskweken - Kostprijs 1 kg Afrikaanse Meerval. Aquacultuur 4: 20-24.
- Simon, J.** (2002): Zusammenstellung von Standorten mit Kreislaufanlagen in der Bundesrepublik Deutschland, deren Produktion und ökonomisch orientierter Fachliteratur. Hausarbeit Humboldt-Universität Berlin (unveröffentlicht).
- Wedekind, H.** (1991): Untersuchungen zur Produktqualität Afrikanischer Welse (*Clarias gariepinus*) in Abhängigkeit von genetischer Herkunft, Fütterung, Geschlecht und Schlachalter. Dissertation Universität Göttingen. 176 S.

Wedekind, H. (1998): Mit Fischzucht Geld verdienen? Deutsche Landtechnische Zeitung (dlz) 12: 92-96.

Möglichkeiten der integrierten Aquakultur in marinen Systemen

Carsten Schulz

Zusammenfassung

Die zukünftige Entwicklung der marinen Aquakultur wird wesentlich von der Nutzung umweltgerechter Systeme geprägt sein. Die Minimierung möglicher Umweltinteraktionen der marinen Fischzucht kann durch die integrierte Aufzucht von Organismen unterschiedlicher Trophie erreicht werden. Hierzu können verschiedenste Arten eingesetzt werden, um die in gelöster und partikulär gebundener Form anfallenden Nährstoffe der Fischeaufzucht zu assimilieren.

In vergangenen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass phototrophe Organismen wie Makroalgen in der unmittelbaren Nähe von marinen Netzkäfigsystemen zu einer effektiven Minimierung von Umwelteinflüssen führen können. Die Aufzucht filtrierender Mollusken in Kombination mit der Netzkäfigfischproduktion wird allerdings durch eine mögliche Verdriftung partikulärer Nährstoffe wesentlich von den lokalen Strömungsbedingungen beeinflusst. In marinen Durchflusssystemen können mit phototrophen Organismen und filtrierenden Mollusken höchste Nährstoffrückhalte erzielt werden. Dabei wirken die Temperatur, die Lichtintensität und vor allem der Flächenbedarf limitierend auf die Effektivität und Rentabilität solcher Systeme. Auch in marinen Kreislaufsystemen werden derzeit einige mögliche integrierte Verfahren (Makroalgen, Mollusken, Helminthen,

Bakterien etc.) erprobt, wobei jedoch deren Wirtschaftlichkeit noch nicht belegt ist.

Einleitung

Während die Erträge der kontrollierten Aufzucht von Süßwasserfischen in Europa in den vergangenen Jahren stagnieren, werden für marine Fischarten insbesondere in den mediterranen Ländern positive Zuwachsraten erzielt. Im globalen Maßstab weist die Aufzucht mariner Fischarten im Vergleich zu den anderen Produktionsbereichen der Aquakultur mit 12,5 % höchste Produktionszuwächse im vergangenen Jahrzehnt von 1990 - 2000 auf (Tab. 1; FAO, 2007). Mit zunehmender Produktionsintensivierung in der marinen Fischzucht wird jedoch ein effizientes Nährstoffmanagement zum Entgegenwirken möglicher ökologischer Einflüsse immanent. Hierzu bieten sich in Abhängigkeit des genutzten Produktionssystems variierende Verfahren an, die in die Produktion des Primärorganismus integriert werden können.

Tab. 1: Produktionszuwächse der Aquakultur (FAO, 2007)

Zeitraum	Crustaceaen	Mollusken	Süßwasserfische	Diadrome Fische	Marine Fische	gesamt
1970-2004	18,9	7,7	9,3	7,3	10,5	8,8
1980-1990	24,1	7,0	13,1	9,4	5,3	10,8
1990-2000	9,1	11,6	10,5	6,5	12,5	10,5

Unter dem Begriff der integrierten Aquakultur wird gemeinhin die Integration weiterer nutzbringender Produktionsprozesse in der

Regel unterschiedlicher Trophiestufen in ein Aquakulturverfahren verstanden. Dabei wird der Nutzen im Wesentlichen ökologischer und/oder ökonomischer Art sein. Durch die Integration werden somit vorhandene Ressourcen effektiver ausgenutzt zum Schutze der Umwelt und nach Möglichkeit zur Erhöhung der betriebswirtschaftlichen Effektivität des Gesamtverfahrens (Edwards et al., 1988).

Die Integration weiterer Verfahren in der Fischproduktion ist bei weitem nicht neu, sondern wird bereits seit Jahrtausenden in Asien überwiegend in limnischen und Brackwassersystemen praktiziert (Neori et al., 2004; Chopin et al., 2001). So ist beispielsweise die kombinierte Aufzucht von Cypriniden im Reisanbau schon vor 4000 Jahren beschrieben worden. Hier werden die für den Reisanbau genutzten Flächen zusätzlich für die Aufzucht von z. B. Cypriniden eingesetzt. Der Reisanbau profitiert durch die Wühlaktivität und Bodenbelüftung als auch durch den Verzehr potentieller Pflanzenschädlinge der Fische. Daneben finden sich insbesondere an marginalen Standorten, Systeme zur kombinierten Aufzucht landwirtschaftlicher Nutztiere in der klassischen Teichwirtschaft. Hierzu dienen die Exkremente von Hühnern, Rindern, Enten oder Schweinen dem Ziel, die Primärproduktion in den Teichsystemen zu erhöhen. Die Geschichte zu integrierten marinen Systemen hat ebenfalls ihren Ursprung in asiatischen Ländern, allerdings sind die Erfahrungen dort für Personen aus westlichen Ländern relativ schlecht dokumentiert. In unseren Breiten wurden erst mit zuneh-

mender Intensivierung der marinen Aquakultur Ende des 20. Jahrhunderts (ab 1975) weitere Verfahren, die ursprünglich zur kommunalen Abwasserbehandlung eingesetzt wurden, integriert (Troell et al., 2003). Die wesentliche Motivation war demnach das Entgegenwirken möglicher Umweltinteraktionen durch die zunehmend intensivere Produktion in offenen Systemen wie Netzkäfigen und Durchflussanlagen oder auch in geschlossenen Kreislaufsystemen.

Nutzbare Ressourcen - Nährstoffe

Die in der intensiven Aufzucht von Fischen nutzbaren Ressourcen stellen in erster Linie die von den Fischen nicht genutzten Nährstoffe der Futtermittelverabreichung dar. Um diese effektiv durch integrierte Verfahren nutzen zu können, ist die genaue Kenntnis zur Art und zum Ort des Anfalls notwendig. Von den mit den Futtermitteln verabreichten Nährstoffen verbleiben in Abhängigkeit der Futterzusammensetzung, des Fütterungsmanagements, der Haltungsumwelt und der Fischart in der Regel zwischen 25 – 50 % des Stickstoffs und 20 – 40 % des Phosphors im Fischkörper als Biomassenzuwachs (Piedrahita, 2003). Die nicht genutzten Nährstoffe fallen entweder in gelöster oder in partikulärer Form mit dem Kot und mit den Futterresten an (Ackefors und Enell, 1994). Untersuchungen von Fivelstad et al. (1990) an Salmoniden zeigten, dass 67 % der Gesamtstickstoffexkretion als Ammoniumstickstoff vornehmlich über die Kiemen und 10 % als Harnstoffstickstoff über den Urin ausgeschieden werden. Bergheim et al. (1993) fanden im Ablaufwasser

von Salmonidenproduktionseinrichtungen 68 – 93 % des Gesamtstickstoffs (TN) in gelöster Form und den verbleibenden Stickstoff in Feststoffen gebunden. Kalkulationen von Ackefors und Enell (1990) bestätigten mit 78 % gelöster Stickstoffverbindungen am Gesamtstickstoffaufkommen vorher genannte Untersuchungen. Während sich die Stickstoffverbindungen maßgeblich in der gelösten Fraktion fischwirtschaftlicher Ablaufwasser nachweisen lassen, sind die Phosphorverbindungen größtenteils in der partikulären Substanz gebunden. Foy und Rosell (1991) und Bergheim und Forsberg (1993) führten 30 – 84 % der Gesamtphosphorbelastung im fischwirtschaftlichen Ablaufwasser auf die in Feststoffen gebundenen Phosphorverbindungen zurück. Enell (1987) fand 75 % des Gesamtphosphors (TP) in den Feststoffen und lediglich 25 % in gelöster Form als Orthophosphat. Untersuchungen von Ackefors und Enell (1994) bestätigen die Ergebnisse vorher genannter Studien, indem 78 % der Phosphorverbindungen im fischereilichen Ablaufwasser mit den Feststoffen ausgetragen werden. Die als BSB₅ (biochemischer Sauerstoffbedarf) darstellbare organische Gesamtbelastung aus der Salmonidenfütterung setzt sich nach Ziemann (1988) aus maximal 30 % partikulärer Substanz zusammen. Butz und Vens-Capell (1981) hingegen bezifferten diesen Anteil feststoffbürtiger BSB₅-Verbindungen mit maximal 64 %. Weiterhin wiesen sie darauf hin, dass sich durch Rücklösungsvorgänge der BSB₅-Gehalt des Faeces nach einstündiger Verweildauer im Wasser bereits um 36 % verringerte.

Unabhängig von dem Produktionsverfahren (Netzkäfigen, küstennahen Durchflusssystemen oder Kreislaufsystemen) fallen die eben genannten Nährstoffe in der intensiven Fischproduktion an, die sich für eine weitere Nutzung anbieten. Im Folgenden werden einige mögliche integrierte Verfahren in den für die europäische Marikultur typischen Netzkäfig-, Durchfluss- oder Kreislaufsystemen dargestellt.

Integrierte Verfahren - Netzkäfigsysteme

In der Vergangenheit wurden vielversprechende Untersuchungen zur kombinierten Produktion von Fischen mit marinen Makroalgen durchgeführt, um die ins durchströmende Wasser abgegebenen Nährstoffe umzusetzen. Dabei wurden häufig Arten der Gattungen *Laminaria*, *Gracilaria* *Ulva* oder *Porphyra* eingesetzt (Neori et al., 2004). Die Algen werden nun zum Zwecke der Aufnahme von gelösten Nährstoffen eingesetzt, um primär den Umwelteffekt der Netzkäfighaltung zu minimieren. Ein wesentlicher Vorteil der Makroalgen ist der, dass diese das anfallende Ammonium sehr effektiv nutzen können.

In Untersuchungen von Troell et al. (1997) an einer kleinen Netzkäfiglachsauzucht mit einer jährlichen Produktion von 230 t wurde das Wachstum von Makroalgen in unterschiedlicher Entfernung von 10 m, 150 m und 1000 m zu den Käfigen untersucht. Dabei stellte

man fest, dass lediglich in unmittelbarer Nähe der Netzkäfige bis 10 m ein positiver Wachstumseffekt auf *Gracilaria* sp. nachgewiesen werden konnte. In größerer Entfernung von 150 m oder 1000 m war vermutlich durch die Nährstoffdrift und –verdünnung kein Einfluss auf das Algenwachstum nachweisbar. Durch Extrapolation auf eine Produktionsfläche von 1 ha konnte ein jährlicher Trockenmasseertrag von 34 t erreicht werden, was zu einer Nährstofffixierung von 6,5 % bzw. 27,5 % der in gelöster Form aus der Fischproduktion ausgetragenen Stickstoff- bzw. Phosphorverbindungen führt. Untersuchungen von Chopin et al. (2001) oder Buschmann et al. (1996) bestätigen diesen negativen Einfluss der Nährstoffverdriftung auf das Makroalgenwachstum mit zunehmender Entfernung zum Netzkäfigsystem.

Die Einschätzung der ökologischen Verträglichkeit von Netzgehegen zur Lachsproduktion kann durch eine integrierte Produktion wesentlich beeinflusst werden. Kautsky et al. (1997) und Troell et al. (1999) gehen beim Konzept des „Ecological Footprintings“ davon aus, dass der Nährstoffeintrag der vorher genannten Lachsproduktion bezogen auf 1 m² im Pelagial hinsichtlich N auf einer Fläche von 340 m² und hinsichtlich P auf einer Fläche von 400 m² assimiliert wird. Durch Integration einer Makroalgenkultur mit *Gracilaria* ssp. könnte diese Assimilationsfläche auf 150 m² bzgl. N und 25 m² bzgl. P minimiert werden. Somit besteht durch die Makroalgenaufzucht

die Möglichkeit, auf einer definierten Fläche mehr Fisch zu produzieren bzw. weitere Netzgehege zu platzieren.

Während die Nutzung der in gelöster Form abgegebenen Nährstoffe durch die Integration phototropher Organismen vielversprechend ist, gibt es bei der Integration von filtrierenden Organismen recht widersprüchliche Ergebnisse, obgleich die Nutzung der partikulär gebundenen Nährstoffe durch filtrierende Organismen, wie z. B. Muscheln naheliegt.

Untersuchungen von Cheshuk et al. (2003), Kautsky et al. (1996) und Taylor et al. (1992) zeigten, dass in unmittelbarer Nähe zu den Netzkäfigen nur sehr geringe Konzentrationserhöhungen der nutzbaren abfiltrierbaren Schwebstoffe (ASS) feststellbar sind. Lediglich bei sehr hohen Besatzdichten, geringer Wasserströmung und zum Zeitpunkt der Fütterung wurden dabei ASS-Gehalte erhöht. Die Verdriftung der partikulären Substanzen führt nun dazu, dass das Wachstum der Muscheln (z.B. *Mytilus edulis*) in der Nähe der Netzkäfige nicht wesentlich positiv beeinflusst wird. Entscheidend scheint in diesen Gebieten die Grundbelastung an organischen Partikeln für das Muschelwachstum, so dass die integrierte Nutzung der anfallenden partikulären Substanz aus Netzkäfigsystemen keinen Wachstumseffekt auf die Muscheln hat. Allerdings konnten Jones und Iwama (1991) bei geeigneten hydraulischen Bedingun-

gen ein erhöhtes Wachstum von *Crassostrea gigas*, der pazifischen Auster, in der Nähe einer Lachsfarm beobachten.

Integrierte Verfahren - Durchflusssysteme

Im Gegensatz zu den Netzkäfigsystemen weisen Durchflusssysteme den Vorteil auf, dass das Prozesswasser durch ein künstliches Leitungssystem geführt wird und somit sich darin befindliche Nährstoffe einfacher handhaben lassen. In der Vergangenheit wurden deshalb vielfältige Untersuchungen zur Integration von Makroalgen im Anschluss an durchflossenen Fischproduktionssystemen durchgeführt. Dabei konnten in Abhängigkeit der Nährstoffkonzentration, Wassertemperatur, des Lichtangebotes und der Verweilzeit maximale tägliche Stickstoffaufnahmeleistungen von 0,65 - 6,5 g/m² erzielt werden (Tab. 2).

Tab. 2: Stickstoffaufnahme von Makroalgen in der kombinierten Fischeaufzucht in Durchflusssystemen (aus Wecker, 2003)

Primärorganismus	Integrierte Makroalge	N-Aufnahme (g N/m ² *d)	Land/Temperatur (°C)	Quelle
<i>Sparus aurata</i>	<i>Ulva lactuca</i>	bis 5,6	Israel	Neori et al. 1991
<i>Sparus aurata</i>	<i>Ulva lactuca</i>	0,8-3,3	Israel/20-29	Neori et al. 1998
<i>Sparus aurata</i>	<i>Ulva lactuca</i>	0,65-0,75	Israel/16,6-23,1	Schuenhoff et al., 2003
<i>Sparus aurata</i>	<i>Ulva lactuca</i>	1,7	Israel/18,1-31,2	Neori et al. 1998
<i>O. mykiss</i> , <i>O. kisutch</i>	<i>Gracilaria chilensis</i>	1,4	Chile/10-18	Buschmann et al., 1994
<i>D. labrax</i> , <i>S. maximus</i>	<i>Palmaria palmata</i>	2,74	Portugal/17-21	Matos et al., 2006
<i>D. labrax</i> , <i>S. maximus</i>	<i>Chondrus crispus</i>	0,86	19	Matos et al., 2006
<i>Sparus aurata</i>	<i>Asperagopsis armata</i>	2,6 - 6,5	Portugal	Schuenhoff et al, 2006

Dieses führt nun dazu, dass im Falle der Doraden-Produktion bei einem Flächenindex von 2 d.h. bei einer im Vergleich zur Fischproduktionsfläche doppelten Algenproduktionsfläche (für *Ulva lactuca*), die Stickstoffretention von 20 % (in den Fischen) auf 52 %

optimiert werden konnte (Neori et al, 2000). Durch Erhöhung der Algenproduktionsfläche kann die Nährstoffretention weiterhin verbessert werden. Zur vollständigen Assimilation der gelösten Ammoniumverbindungen einer Doradenproduktion von 100 t/a durch Makroalgen werden bei einer kalkulierten TAN-Exkretion von ± 40 g TAN/kg Futter (FQ = 1,6; Lupatsch und Kissil, 1998) und einer optimalen Assimilation durch die Makroalgen von $6\text{g/m}^2\cdot\text{d}$ theoretisch ca. 2920 m^2 Produktionsfläche benötigt. Bei einer mittleren Stickstoffaufnahme der Makroalgen von $2\text{ g/m}^2\cdot\text{d}$ sind sogar 8760 m^2 Makroalgenproduktionsfläche notwendig. Diese einfache Kalkulation deckt sich mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen von Schuenhoff et al. (2006) oder Pagand et al. (2000), die für eine Doradenproduktion von 100 t zwischen 3000 m^2 - 7500 m^2 Algenproduktionsfläche und einer Algenproduktion von ca. 17 kg/m^2 kalkulieren. Wird ein Preis von ca. 1 Euro/kg Makroalge angesetzt, kann ein zusätzlicher Umsatz von ca. 50.000 Euro/a erzielt werden, was jedoch angesichts der hohen Investitions- und Betriebskosten nicht Kosten tragend sein kann.

Zur maximierten Wertschöpfung ist deshalb der Einsatz von solchen Algen zu empfehlen, die einen Mehrwert beispielsweise durch weitere sekundäre Inhaltsstoffe für die Kosmetik- oder Pharmaindustrie aufweisen. Weiterhin wäre die Nutzung der kultivierten Algen als Futtermittel in einem weiteren Produktionsverfahren, wie z. B. der Aufzucht hochpreisiger algivorer Abalone-Schnecken

(*Haliotis discus hannai*), denkbar (Neori et al., 2000). Die kultivierten Algen werden von den Schnecken bei einem FQ von 10 - 15 verwertet, so dass vergleichsweise geringe 12 % der futtermittelbürtigen Stickstoffverbindungen in den Schnecken fixiert werden. Aufgrund des hohen Preises von Abalone-Schnecken (ca. 35 Euro/kg) ist eine solche Integration betriebswirtschaftlich interessanter, wenngleich die Nährstoffbilanz negativ beeinflusst ist. Bei einer Produktion von 1 kg Fisch lassen sich 6 kg Algen produzieren, die wiederum zu einer Produktion von 0,66 kg Abalone führen. Allerdings gilt hierbei zu berücksichtigen, dass das Wachstum von Abalone-Schnecken unter unseren klimatischen Bedingungen vergleichsweise gering ist und sich diese lediglich in wärmeren Gebieten effektiv aufziehen lassen.

Neben Abalone-Schnecken können auch Muscheln (*Crassostrea gigas*, *Tapes semidecussatus*) im Ablaufwasser von marinen Durchflusssystemen kultiviert werden, um die partikulären Nährstoffe nutzen zu können. Dabei wurden bei Untersuchungen von Shippel et al. (1993) in der Nährstoffbilanz ca. 26 % des durch die Futtermittel eingebrachten Stickstoffs in den Fischen, 22,4 % in den Algen und 14,5 % in den Muscheln bei einem Produktionsflächenindex von 1:0,4:0,3 fixiert. Die Nährstoffausträge reduzierten sich somit auf 37,1 % des futtermittelbürtigen Stickstoffs. Wurden weitere Sedimentationsvorrichtungen eingesetzt, so konnten sogar über 95 % der eingetragenen Stickstoffverbindungen eliminiert

werden. Mit einem Kilogramm Fisch ließen sich dabei 7,8 kg Algen- und 3 kg Muschelbiomasse produzieren. Bei einer 100-Tonnen-Anlage wären somit theoretisch 300 t/a Muscheln und 780 t/a Algen produzierbar, was insbesondere aufgrund der recht hohen Muschel-preise (ca. 3 – 5 Euro/kg) eine vielversprechende Form der integrierten Aquakultur darstellen könnte.

Integrierte Verfahren - Kreislaufsysteme

Generell besteht in Kreislaufsystemen ebenfalls die Möglichkeit den Durchfluss- und Netzkäfigsystemen ähnliche Verfahren zu integrieren. Da phototrophe Pflanzen, insbesondere Algen, in der Regel Ammonium hocheffektiv nutzen, könnte theoretisch die mikrobiologische Reinigungseinheit zur Nitrifikation der potentiell fisch-toxischen Ammoniumverbindungen durch eine Algenkultur ersetzt werden.

Dieses Konzept verfolgte auch die Studie von Wecker (2003), in der unterschiedliche Formen der integrierten Produktion von Makro- und Mikroalgen zur Elimination der gelösten Nährstoffe sowie die Nutzung der anfallenden partikulären Nährstoffe durch Mollusken und Helminthen untersucht wurden.

Ist die Assimilation aller gelösten Ammoniumverbindungen, die die kultivierten Fische ausscheiden, zur Aufrechterhaltung geeigneter Umweltbedingungen beabsichtigt, müssen gemäß der oben auf-

geführten Kalkulation immense Flächen von 30 – 90 m²/t produzierten Fisch eingesetzt werden. Diese hohen Flächenaufwendungen sind in eingehausten Kreislaufsystemen unserer Breiten ökonomisch nicht vertretbar. Wird jedoch bei einem vertretbaren Flächenindex von 1:3 zusätzlich noch ein Abschäumer eingesetzt, konnten ca. 47 bzw. 55 % der eingesetzten Stickstoff- und Phosphorverbindungen in Algenbiomasse überführt werden (Wecker, 2003). Zudem wurde dabei der tägliche Wasseraustausch auf unter 1 % des Gesamtvolumens minimiert. Die Nutzung der partikulären Substanz durch die Seeringelwürmer (*Nereis sp.*) gestaltet sich durch die geringe Energiemenge der partikulären Substanz und den innerartlichen Kannibalismus schwierig, so dass bei diesen Untersuchungen keine Nährstoffelimination festgestellt werden konnte. Die effektive Aufzucht dieser hochpreisigen Organismen (ca. 30 Euro/kg) unter künstlichen Bedingungen verlangt derzeit noch der Klärung grundlegender Zusammenhänge (Bischoff, 2003).

Weitere Arbeiten zu integrierten Verfahren in marinen Kreislaufsystemen zeigen vergleichbare Ergebnisse. Phototrophe Organismen, wie Mikroalgen der Gattung *Chaetoceros*, können einen hohen Anteil der über den Primärorganismus ausgeschiedenen Stickstoffverbindungen (über 40 %) assimilieren (Wang et al., 2003). Die Pflanzenbiomasse lässt sich daraufhin auch in Kreislaufsystemen in

höherpreisige Organismen wie der pazifischen Auster veredeln, um die Rentabilität des Gesamtsystems zu erhöhen.

Angeregt durch positive Erfahrungen aus der Shrimpsaufzucht in Teichen (Avnimelech, 2006) werden aktuell verstärkt Untersuchungen zur Nutzung von heterotrophen Bakterien durchgeführt, die auf der Basis der partikulären Abscheideprodukte aus der mechanischen Reinigungseinheit kultiviert werden können. Der Schlamm aus der mechanischen Abscheideeinrichtung wird dabei in belüftete Reaktoren überführt, woraufhin sich die Bakterien und auch andere Mikroorganismen entwickeln (Schneider et al., 2006). Problematisch ist in diesem sogenannten Biofloc-System, die Unterversorgung der heterotrophen Bakterien mit Kohlenstoffverbindungen, da das C/N-Verhältnis im Schlamm mit ca. 2 - 3/1 suboptimal ist. Durch Kohlenstoffgaben, z. B. Natriumazetat, kann das Bakterienwachstum wesentlich verbessert werden. Die sich bildenden Flocken bestehen aus einem heterogenen Mix aus Struktur bildenden, filamentösen oder abgestorbenen Bakterien, organische Polymeren und Partikeln, Algen, Protozoen, usw. Bei einer Verweilzeit von 5 – 9 h im Bakterienreaktor kann der Schlamm effektiv umgesetzt werden, so dass sich aus 1 kg Futter ca. 100 g Bakterienprotein produzieren lässt (Schneider et al., 2006). Nach Avnimelech (2006) werden derart in der Nährstoffbilanz ca. 20 % des futterbürtigen Stickstoffs gebunden. Neben der Nährstofffixierung (zur Minimierung der Nährstoffausträge) kann das Bak-

terienprotein wiederum als Futtermittel für detritivore oder filtrierende Organismen direkt im System verwertet werden. Bei kontinuierlicher Rückführung dieser sogenannten „Bioflocken“ konnte das Wachstum von Tilapia (*Oreochromis niloticus*) beispielsweise um 45 % gegenüber der alleinigen Verwendung von Trockenmischfuttermittel optimiert werden (Azim und Little, *in press*). Bei kontinuierlicher Rückführung der Bioflocken an Shrimps (*Litopenaeus vannamei*) wurde eine Wachstumsoptimierung um 26 % erreicht (Wasiolesky et al., 2006). Schneider et al. (2006) konnten 10 – 20 % der Futtermitteltrockenmasse aus der Bakterienmasse beziehen und erfolgreich an Shrimps verfüttern.

Ogleich mittels der integrierten Produktion von heterotrophen Bakterien eine effektive Nährstoffbindung erreicht werden kann, ist der benötigte hohe technische Aufwand hinsichtlich der praktischen Überführung und wirtschaftlichen Einschätzung derzeit noch kritisch zu bewerten.

Literatur

- Ackefors, H., Enell, M.**, 1990. Discharge of nutrients from swedish fish farming to adjacent sea areas. *Ambio*, 19, 1, 28-35.
- Ackefors, H., Enell, M.**, 1994. The release of nutrients and organic matter from aquaculture systems in Nordic countries. *J. Appl. Ichthyol.* 10, 225-241.
- Avnimelech, Y.**, 2006. Bio-filters. The need for a new comprehensive approach. *Aquacultural Engineering* 34, 172–178.
- Azim, M.E., Little, D.C.** (in press) The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), *Aquaculture*
- Bergheim, A., Forsberg, O. I.**, 1993. Attempts to reduce effluent loadings from salmon farms by varying feeding frequencies and mechanical treatment. In: *Production, environment and quality*. Barnabe, G., Kestemont, P. (Hrsg.), European Aquaculture Society, Ghent, Belgium, Special Publication 18, 115-124.
- Bergheim, A., Sanni, S., Indrevik, G., Holland, P.**, 1993. Sludge removal from salmonid tank effluent using rotating microsieves. *Aquacultural Engineering*, 12, 97-109.
- Bischoff, A. A.**, 2003. Growth and mortality of the polychaete *Nereis diversicolor* under experimental rearing conditions. M.Sc. thesis, Institute of Marine Research & Department of Animal Sciences, Chairgroup of Fish Culture and Fisheries, Christian Albrechts University, Kiel, Germany/Wageningen University, The Netherlands, p. 103.
- Buschmann, A.H., Mora, O.A., Gomez, P., Bo'ttger, M., Buitano, S., Retamales, C., Vergara, P.A., Guiterrez, A.**, 1994. *Gracilaria chilensis* outdoor tank cultivation in Chile: use of land-based salmon culture effluents. *Aquac. Eng.* 13, 283–300.

- Buschmann, A.H., Troell, M., Kautsky, N., Kautsky, L.,** 1996. Integrated tank cultivation of salmonids and *Gracilaria chilensis* (Gracilariales, Rhodophyta). *Hydrobiologia* 326/327, 75– 82.
- Butz, I., Vens-Capell, B.,** 1981: Organische Belastung des Wassers mit Stoffwechselprodukten von Forellen bei Verfütterung von Trockenfutter. *Fisch und Umwelt* 10, 103-125.
- Cheshuk, B.W., Pursera, G.J., Quintana, R.** 2003 Integrated open-water mussel (*Mytilus planulatus*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) culture in Tasmania, Australia. *Aquaculture*, 218, 357– 378.
- Chopin, T., Buschmann, A.H., Halling, C., Troell, M., Kautsky, N., Neori, A., Kraemer, G.P., Zertuche-Gonzalez, J.A., Yarish, C., Neefus, C.,** 2001. Integrating seaweeds into marine aquaculture systems: a key towards sustainability. *J. Phycol.* 37, 975– 986.
- Edwards, P., Pullin, R.S.V., Gartner, J.A.,** 1988. Research and education for the development of integrated crop – livestock– fish farming systems in the tropics. *ICLARM Studies and Reviews*, vol. 16. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, p. 53.
- Enell, M.,** 1987. Environmental impact of cage fish farming. *Rep. Inst. Freshwater Res.*, 63, 106-115.
- FAO,** 2007. The State of World Fisheries and Aquaculture (SOFIA) in 2006.
- Fivelstad, S., Thomassen, J.M., Smith, M.J., Kjartansson, H., Sando, A. B.,** 1990. Metabolite production rates from Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and Arctic char (*Salvelinus alpinus* L.) reared in single pass land-based brackish water and sea-water systems. *Aquacultural Engineering*, 9, 1-21.

- Foy, R. H., Rosell, R.,** 1991. Fractionation of phosphorus and nitrogen loadings from northern Ireland fish farm. *Aquaculture*, 96, 31-42.
- Jones, T.O., Iwama, G.K.,** 1991. Polyculture of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thurnberg) with Chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha*. *Aquaculture* 92, 313–322.
- Kautsky, N., Folke, C., Berg, H., Jansson, Å., Troell, M.** (1997). The ecological footprint concept for sustainable seafood production: a review. *Ecol. Apps.* 8: 63–S71.
- Kautsky, N., Troell, M. and Folke, C.,** 1996. Ecological engineering for increased production and environmental improvement in open sea aquaculture. In: Etnier, C. and Gutestam, I. Editors, , 1996. *Ecological Engineering for Wastewater Treatment* (second ed. ed.), Lewis, Chelsea, Michigan, pp. 387–393
- Lupatsch, I., Kissil, G.W.** (1998). Predicting aquaculture waste from gilthead seabream (*Sparus aurata*) culture using a nutritional approach. *Aquat. Living Res.* 11(4), 265-268.
- Matos,J., Costa,S., Rodriguez,A., Pereira,R., and Pinto,I.S.** 2006. Experimental integrated aquaculture of fish and red seaweeds in Northern Portugal. *Aquaculture* 252: 31-42.
- Neori, A., Cohen, I., Gordin, H.,** 1991. *Ulva lactuca* biofilters for marine fishpond effluents. 2. Growth-rate, yield and C–N ratio. *Botan. Marina* 34 (6), 483–489.
- Neori, A., Ragg, N.L.C., Shpigel, M.,** 1998. The integrated culture of seaweed, abalone, fish and clams in modular intensive land-based systems. II. Performance and nitrogen partitioning within an abalone (*Haliotis tuberculata*) and macroalgae culture system. *Aquacult. Eng.* 17 (4), 215–239.

- Neori, A., Shpigel, M., Ben-Ezra, D.,** 2000. A sustainable integrated system for culture of fish, seaweed and abalone. *Aquaculture* 186 (3/4), 279–291.
- Neori, A., Chopin, T., Troell, M., Buschmann, A.H., Kraemer, G.P., Halling, C., Shpigel, M., Yarish, C.,** 2004. Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. *Aquaculture* 231 (1–4), 361–391.
- Pagand, P., Blancheton, J.P., Lemoalle, J., Casellas, C.,** 2000. The use of high rate algae ponds for the treatment of marine effluent from a recirculating fish rearing system. *Aquacult. Res.* 31 (11), 729–736.
- Piedrahita, R.H.** 2003. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture* 226: 35-44.
- Schneider, O., Le Cong, T., Sereti, V., Schrama, J.W., Eding, E.H., Vereth, J.A.J.** Bacteria or commercial diet: the preferences of *Litopenaeus vannamei*, *Aquaculture Research*, 37, 2, 204–207.
- Schuenhoff, A., Mata, L., Santos, R.** (2006) The tetrasporophyte of *Asparagopsis armata* as a novel seaweed biofilter. *Aquaculture* 252, 3-11.
- Schuenhoff, A., Shpigel, M., Lupatsch, I., Ashkenazi, A., Msuya, F.E., Neori, A.,** 2003. A semi-recirculating, integrated system for the culture of fish and seaweed. *Aquaculture* 221 (1–4), 167–181.
- Shpigel, M., Neori, A., Popper, D.M., Gordin, H.,** 1993. A proposed model for “environmentally clean” landbased culture of fish, bivalves and seaweeds. *Aquaculture* 117 (1/2), 115–128.

- Taylor, B.E., Jamieson, G., Carefoot, T.H.**, 1992. Mussel culture in British Columbia: the influence of salmon farms on growth of *Mytilus edulis*. *Aquaculture* 108, 51– 66.
- Troell, M., Halling, C., Nilsson, A., Buschmann, A.H., Kautsky, N., Kautsky, L.** (1997) Integrated open sea cultivation of *Gracilaria chilensis* (Gracilariales, Rhodophyta) and salmonids for reduced environmental impact and increased economic output. *Aquaculture* 156, 45–61.
- Troell, M., Ronnback, P., Halling, C., Kautsky, N., Buschmann, A.**, 1999. Ecological engineering in aquaculture: use of seaweeds for removing nutrients from intensive mariculture. *J. Appl. Phycol.* 11, 89– 97.
- Troell, M., Halling, C., Neori, A., Chopin, T., Buschmann, A.H., Kautsky, N., Yarish, C.**, 2003. Integrated mariculture: asking the right questions. *Aquaculture* 226, 69–90.
- Wecker, B.** 2003. Nährstofffluss in einer geschlossenen Kreislaufanlage mit integrierter Prozesswasserklärung über Algenfilter - Modell und Wirklichkeit – Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 156 S.
- Wang, J.K.**, 2003. Conceptual design of a microalgae-based recirculating oyster and shrimp system. *Aquacult. Eng.* 28 (1/2), 37–46.
- Wasielsky Jr., W., Atwood, H., Stokes, A., Browdy, C.L.**, 2006. Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 258, 396–403.
- Ziemann, H., Grosswendt, U.**, 1985. Untersuchungen über die in industriemäßigen Anlagen der Forellenmast in Betonrinnen anfallenden Abwasserinhaltsstoffe. *Zeitschrift für die Binnenfischerei*, 32, 1, 14-19.

Ein Ausweg aus dem Rohstoffdilemma:
vegetarische Salmoniden
Alexander Brinker & Roland Rösch

Zusammenfassung

Die Aquakulturproduktion nimmt weltweit ständig zu. Dementsprechend steigt auch die Nachfrage nach Fischmehl (Protein/Eiweiß) und Fischöl (Fett). Der Preis dieser beiden Komponenten hat sich in den letzten Jahren mindestens verdreifacht. Um der steigenden Nachfrage nach Fischfutter zu wirtschaftlichen Preisen gerecht zu werden, wird ein steigender Anteil von Eiweiß und Fett durch Eiweiß und Fett pflanzlicher Herkunft ersetzt. In den hier vorgestellten Versuchen wurde in einem ersten Schritt das Eiweiß aus Fischmehl durch solches aus pflanzlicher Herkunft ersetzt und - auf diesen Erfahrungen aufbauend - in einem zweiten Schritt ein rein pflanzliches Forellenfutter hergestellt. Diese Futter wurden bezüglich ihrer Auswirkung auf die Wachstumsleistung der Fische und die anfallende Ablaufwasserbelastung mit einem Standardfutter verglichen: Das Wachstum von Regenbogenforellen und Saiblingen war durch die pflanzlichen Komponenten nicht beeinflusst, Bachforellen wuchsen mit dem vegetarischen Futter jedoch wesentlich langsamer. Die Fischgesundheit, insbesondere der Zustand der Leber, war bei Verfütterung von vegetarischem Futter deutlich besser als beim Standardfutter. Ein noch ungelöstes Problem mit vegetarischem Futter ist die auf den Fischkot zurückgehende

äußerst problematische Feststoffbelastung. Die ‚pflanzlichen‘ Kotpartikel sind wesentlich kleiner und können deshalb nur zu einem geringeren Teil mit einem Trommelfilter aus dem Wasser entnommen werden. Zugabe von Guar gum hatte hier nur einen geringen positiven Effekt.

Die Versuche zeigen, dass es möglich ist, rein vegetarisches Futter für Forellen herzustellen, das in der Herstellung nicht teurer, sondern wahrscheinlich sogar günstiger als konventionelles Futter wäre.

Einleitung

Die Aquakulturproduktion nimmt weltweit stetig zu (ANONYMOUS 2006). Sie ist der Zweig der Landwirtschaft mit den höchsten Zuwächsen (etwa 10% jährlich seit 1970). Die heute verwendeten Futter für karnivore (fleischfressende, räuberische) Arten enthalten u. a. Fischmehl und Fischöl, um dem natürlichen Nahrungsanspruch bzgl. der Futterzusammensetzung gerecht zu werden. Mit steigender Aquakulturproduktion nimmt daher die Nachfrage nach Fischmehl und Fischöl zu. Fischmehl und Fischöl werden allerdings auch von anderen Sparten der Tierproduktion verstärkt nachgefragt. Sie sind in ihrer Produktion weltweit jedoch nicht mehr steigerbar. Die Fischmehlproduktion schwankt schon seit vielen Jahren zwischen 1,25 und 2,2 Mio. t, die Fischölproduktion zwischen 200.000 und 600.000 t. Dementsprechend stieg in den letzten Jahren der Preis beider Produkte stark an; der Preis für Fischmehl von 2001 bis 2007

um das Dreifache, der Preis von Fischöl vervierfachte sich (Stand Jan. 2009). Es ist davon auszugehen, dass die Preise weiter steigen werden.

Um eine weitere Steigerung der Aquakulturproduktion zu ermöglichen, bleibt neben einer Beschränkung auf pflanzenfressende Fischarten nur der Ausweg, einen steigenden Anteil des Fischmehls und Fischöls durch pflanzliche Komponenten zu ersetzen. Bei Verwendung von Eiweiß und Fett pflanzlicher Herkunft sind jedoch verschiedene Dinge zu beachten: Ein einfacher Austausch des Fischeiweißes (Fischmehl) durch die entsprechende Menge an Eiweiß pflanzlicher Herkunft führt zwar die benötigte Menge an Makronährstoffen zu, die einzelnen Aminosäuren der Eiweiße sind aber anteilmäßig nicht mehr auf den Bedarf der Forelle abgestimmt. In der Folge ist der Fisch bei einzelnen Aminosäuren unterversorgt und wird dadurch in seiner Entwicklung gehindert oder sogar geschädigt. Auch Mikronährstoffe sind in den Rohstoffen pflanzlicher Herkunft meist in anderer, für Forellen nicht ausreichender Menge enthalten oder verfügbar. Fehlende Vitamine, Fettsäuren, Mineralstoffe etc. müssen speziell zugesetzt werden. Ein anderer Ansatz ist, durch Kombination verschiedener pflanzlicher Rohstoffe die Anforderungen der Forellen zu erfüllen.

Erschwerend kommt bei der Konzeption pflanzlicher Futtermittel hinzu, dass hier „antinutritive Stoffe“ enthalten sind, die ohne ent-

sprechende Vorbehandlung bei den Fischen Verdauungsprobleme und Stoffwechselerkrankungen auslösen können. Um also für die Forellen vollwertige Futtermittel auf pflanzlicher Basis herzustellen, sind besondere Maßnahmen notwendig, und der komplexe Bedarf der Tiere muss berücksichtigt werden.

In den Futtermitteln für Forellen ist auch derzeit (2008) schon ein gewisser Anteil an Eiweiß und Fett pflanzlicher Herkunft enthalten. Die Tendenz ist steigend. Die Herstellung von Forellenfutter auf ausschließlich pflanzlicher Basis war bisher nur mit sehr teuren pflanzlichen Komponenten möglich. Die hier dargestellten Ergebnisse zeigen jedoch, dass eine Futterformulierung auf rein pflanzlicher Basis auch mit kommerziell interessanten Komponenten möglich ist, die zumindest von der Rohstoffseite her deutlich günstiger sind als die reine Verwendung von Fischöl und Fischmehl.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden im Folgenden vorgestellt.

Material und Methoden

Versuchsanlage

Die Versuche wurden in einer Durchflussanlage durchgeführt, die aus 18 Becken mit je ca. 250 L Inhalt bestand (Abb. 1). Die Wassertemperatur lag bei 11 °C und der Sauerstoffgehalt betrug 12 mg/L. Das Lichtregime war auf 12 h Licht und 12 h Dunkelheit mit je ca. 20

Min. dauernden Übergangsphasen (Dämmerung) eingestellt. Die Fische wurden an 6 Tagen der Woche initial per Hand gefüttert und die restliche Tagesration per Bandfütterautomat. Nach einer zweiwöchigen Eingewöhnungszeit wurden die Fische einzeln gewogen und danach zu je 40 Fischen pro Becken eingesetzt. Pro Futter wurden jeweils drei zufällig ausgewählte Becken gefüttert. Allen Futtern war zur Bestimmung der Verdaulichkeit noch Yttriumoxid (1g/1000g) als unverdaulicher Marker zugesetzt. Die Futterration war auf 1.2 % des Körpergewichts eingestellt und wurde wöchentlich angepasst.



Abb. 1: Teilansicht der Versuchsanlage, in der die Versuche durchgeführt wurden. Im Vordergrund der Beprobungstisch.

Versuch 1: Ersatz von Fischmehl durch Eiweiß pflanzlicher Herkunft

Hier wurde aufbauend auf einem Standardfutter (Futter FM), das als Eiweißträger ausschließlich Fischmehl enthielt, das Fischmehl zu 50 % (Futter FP/PP) und zu 100 % (Futter PP) durch Eiweiß pflanzlicher Herkunft ersetzt (Tab. 1). Die Futtermittel waren iso-energetisch und iso-stickstoffhaltig. Allen drei Futtermitteln wurde in einer zweiten Variante noch 0.3 % Guar gum zugegeben. Der Versuch dauerte nach der Eingewöhnungsphase 10 Wochen.

Tab. 1: Futtermittelformulierung, analysierte Zusammensetzung und Extrusionsbedingungen der Versuchsfuttermittel (Versuch 1)

Proteinherkunft:	Futter 1	Futter 2	Futter 3	Futter 4	Futter 5	Futter 6
	Fisch (FP)		Fisch/Pflanze (FP/PP)		Pflanze (PP)	
Inhaltsstoffe (g kg ⁻¹)						
SC Fischmehl	309	309	175	175	-	-
SA Fischmehl	309	309	175	175	-	-
Sojamehl	-	-	-	-	351	351
HP Soja	-	-	175	175	-	-
Weizenkleber	-	-	142	142	253	253
Maiskleber	-	-	-	-	25	25
Weizen	100	100	100	100	100	100
Weizenstärke	136	136	73	73	61	61
Fischöl	141.55	141.55	155.55	155.55	171.5	171.5
Mineralpremix	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Vitaminpremix	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
L-Lysin HCL	-	-	-	-	7.5	7.5
Vitamin C 35%	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
Vitamin E 50%	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
DL-Methionin	-	-	-	-	1.55	1.55
MCP	-	-	-	-	24.5	24.5
Betafin	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
Inositol	-	-	-	-	0.5	0.5
Yttriumpremix	1	1	1	1	1	1
On-top coating	-	-	-	-	-	-
Guar gum HV109	-	3	-	3	-	3
Gesamt	1000.0	1003.0	1000.0	1003.0	1000.0	1003.0
Chemische Analyse (Trockensubstanz)						
Rohprotein %	42,1	41,7	43,7	44,1	47,6	46,2
Rohfett %	20,1	20,2	18,7	18,9	17,2	17,3
Kohlenhydrate %	15,5	16,1	14,6	14,5	16,9	16,4
Phosphor %	1,52	1,55	1,08	1,08	0,99	1,03
Energie (kJ g ⁻¹ TS)	23,7	23,1	23,6	22,9	23,9	23,6
Energie von P, F, K	20,5	20,6	20,2	20,3	20,9	20,5
Verdauliche Energie (kJ g ⁻¹ DM)	18,6	18,6	17,3	17,0	17,2	17,4
Extrusionsbedingungen (maximale Werte an der Futtermatrix)						
Temperatur	89 °C		89 °C		85 °C	
Druck	17 MPa		17 MPa		5 MPa	

Versuch 2: Vergleich eines Standardfutters mit einer rein pflanzlichen und einer Blut-mehl angereicherten Variante

Im Versuch wurden aufbauend auf Versuch 1 drei iso-energetische und iso-stickstoffhaltige Futter (Tab. 2) an Regenbogenforellen verfüttert. Ein Futter bestand aus einer handelsüblichen Zusammensetzung (Futtermischung enthielt tierische und pflanzliche Rohstoffquellen), ein Futter enthielt ausschließlich pflanzliche Rohstoffe und ein weiteres hatte einen signifikanten Hämoglobinanteil (Blutmehl). Alle drei Futter enthielten in einer zweiten Variante auch Guar gum. Nach der Eingewöhnungsphase dauerte der Versuch 18 Wochen.

Tab. 2: Futterformulierung, analysierte Zusammensetzung und Extrusionsbedingungen der Versuchsfutter (Versuch 2 & 3)

Futter:	Futter 1 Standard	Futter 2	Futter 3 Hämoglobin	Futter 4	Futter 5 Rein pflanzlich	Futter 6
Inhaltsstoffe (g kg ⁻¹)						
Lt Fischmehl	330	330	199	199	-	-
Hp Soja	190	190	190	190	190	190
Maiskleber	100	100	100	100	100	100
Hämoglobinmehl	-	-	100	100	-	-
Erbsenkonzentrat	34	34	15	15	275	275
Weizenkleber	-	-	-	-	150	150
Weizen	166	166	189	189	42	42
Fischöl	105	105	114	114	-	-
Rapsöl	100	100	100	100	213	213
Lecithin	-	-	-	-	10	10
Methionin	-	-	2,2	2,2	3,8	3,8
L-Lysin HCL	-	-	-	-	4,2	4,2
Vitamin/Mineralmix	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1
MCP	-	-	10,6	10,6	20,5	20,5
Attraktant	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Yttriumpremix	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
On-top coating	-	-	-	-	-	-
Guar gum HV109	-	3	-	3	-	3
Feuchte	-3,73	-3,73	-3,3	-3,3	-2,1	-2,1
Gesamt	1000,0	1003,0	1000,0	1003,0	1000,0	1003,0
Chemische Analyse (Trockensubstanz)						
Rohprotein %	43,6	43,7	45,1	45,0	44,7	45,2
Rohfett %	21,6	20,9	20,1	20,2	20,8	20,7
Kohlenhydrate %	15,8	16,9	13,4	12,7	13,0	13,6
Phosphor %	0,92	0,96	1,01	0,95	0,99	1,02
Energie (kJ g ⁻¹ TS)	24,74	24,12	24,40	25,09	24,88	24,74
Energie von P, F, K	20,8	20,9	21,6	21,6	21,2	21,0
Verdauliche Energie (kJ g ⁻¹ DM)	18,4	19,1	19,5	19,4	19,3	19,2
Extrusionsbedingungen (maximale Werte an der Futtermatrix)						
Temperatur	84 °C		84 °C		88 °C	
Druck	17 MPa		17 MPa		5 MPa	

Versuch 3: Test des rein pflanzlichen Futters an 3 Salmonidenarten

Das rein pflanzliche Futter aus Versuch 2 wurde über 11 Wochen an Seesaiblinge, Bachforellen und Regenbogenforellen verfüttert, um festzustellen, ob zwischen den drei Arten spezifische Unterschiede bestehen.

Probenahmen

Die Fische wurden zu Beginn des Versuchs, in Abständen während des Versuchs und nach Ende des jeweiligen Versuchs einzeln gewogen (Nassgewicht). Am Ende des Versuchs wurden zudem der Zustand der Leber und des Darmepithels bewertet sowie eventuelle Auffälligkeiten jedes einzelnen Fisches protokolliert. Die Zusammensetzung von Fisch und Futter (Wassergehalt, Eiweiß, Fett, Phosphor) wurde bestimmt. Zur Bestimmung der aus dem Fischkot resultierenden Partikelgrößenverteilungen wurde der Kot aus dem Enddarm der Fische präpariert und unter praxisnahen Bedingungen (BRINKER et al. 2006) in Wasser suspendiert. Aus dieser Suspension wurde mittels einer speziellen Lasertechnik die Partikelgrößenverteilung bestimmt. Im Detail ist diese Technik in BRINKER et al (2005) nachzulesen. Ein Teil der Fische wurde filetiert und die Filets wurden für eine spätere sensorische Bewertung eingefroren.

Ergebnisse

Versuch 1: Proteinersatz

Die Fische nahmen die Versuchsfutter gut an. Äußerlich unterschieden sich die Fische mit reiner Pflanzeneiweißernährung nicht von den herkömmlich erzeugten Regenbogenforellen. Mit steigendem pflanzlichen Anteil ging das Wachstum (%/Tag) zurück (FP: 1.23 % d⁻¹, FP/PP: 1.16 d⁻¹, PP: 1.10 % d⁻¹) und die Futtermittelverwertung (FQ) wurde entsprechend schlechter (FP: 08.8, FP/PP: 0,87, PP: 0,95). Die Fettverdaulichkeit verschlechterte sich signifikant bei steigendem pflanzlichen Proteinanteil. Die Protein- und die Phosphorverdaulichkeit waren jedoch beim rein pflanzlichen Ansatz am besten (Tab. 3).

Tab. 3: Verdaulichkeit (Mittelwert \pm Standardabweichung) wichtiger Futternährstoffe in Abhängigkeit vom Fettgehalt und Binderzusatz. Ungleiche hochgestellte Buchstaben in einer Zeile verweisen auf signifikanten Unterschied ($p < 0.05$)

Nährstoff	Fischprotein (FP)		Standard (FP/PP)		Pflanzenprotein (PP)	
	Kontrolle	+ Guar gum	Kontrolle	+ Guar gum	Kontrolle	+ Guar gum
Fett	90,5 ^a % \pm 0,9%	89,6 ^a % \pm 0,7%	79,8 ^b % \pm 0,7%	76,5 ^b % \pm 0,7%	80,9 ^{bcc} % \pm 0,7%	86,6 ^{bcc} % \pm 1,0%
Protein	92,0 ^a % \pm 0,3%	91,4 ^a % \pm 0,3%	92,9 ^a % \pm 0,3%	92,3 ^a % \pm 0,4%	94,1 ^b % \pm 0,3%	94,9 ^b % \pm 0,3%
Phosphor	41,1 ^a % \pm 2,0%	36,8 ^a % \pm 1,2%	55,6 ^b % \pm 1,7%	59,9 ^b % \pm 1,3%	67,3 ^c % \pm 1,2%	66,5 ^c % \pm 1,2%

Der Kot der mit PP gefütterten Fische war deutlich heller als der von Fischen, die mit den beiden anderen Futtermitteln gefüttert waren. Die Partikelgrößenverteilung zeigte deutlich, dass die Partikel der mit PP gefütterten Fische am kleinsten waren. Die berechnete Reinigungsleistung eines Trommelfilters mit 100µm Gaze (Tab. 4) ist hierfür die Bestätigung. Im Vergleich verzweieinhalbfachte sich hier die Ablaufwasserbelastung. Zugabe von Guar gum konnte die Partikelstabilität auch für die pflanzliche Variante deutlich erhöhen. Aber auch mit Guar gum-Verbesserung war die Reinigungsleistung bei Verfütterung von Futter PP zwar deutlich verbessert, aber immer noch wesentlich schlechter als mit dem Standard-Fischfutter ohne Zusatz von Guar gum (Tab. 4).

Tab. 4: Kumulativer Volumenanteil der Feststoffe, die kleiner als die angegebene Partikelgröße (Mittelwert ± Standardabweichung) in Abhängigkeit vom verwendeten Protein und Binderzusatz sind. Die Unterschiede zwischen Kontrolle und Versuchsfutter sind jeweils signifikant ($p < 0.001$), wobei PP mit und ohne Guar gum signifikant ($p < 0.001$) schlechter ist als FP und FP/PP

Partikelgröße	Fischmehl (FP)		Standard (FP/PP)		Pflanzen (PP)	
	Kontrolle	+ Guar gum	Kontrolle	+ Guar gum	Kontrolle	+ Guar gum
< 100µm	18,3% ± 2,0%	10,3% ± 0,8%	21,4% ± 1,6%	9,6% ± 0,7%	52,0% ± 0,9%	34,7% ± 0,9%
< 600µm	65,8% ± 4,4%	30,0% ± 1,9%	69,0% ± 2,6%	33,6% ± 1,0%	79,5% ± 1,1%	56,1% ± 1,6%

Ein erstaunliches Ergebnis konnte hinsichtlich der Fischgesundheit beobachtet werden. Die Binderzugabe hatte keinen Einfluss auf die Fischgesundheit, wohl aber der Anteil pflanzlichen Proteins. Mit steigendem Anteil der pflanzlichen Komponente waren signifikant weniger Lebern pathologisch verändert und zudem erniedrigte sich auch die Schwere der Leberschädigungen deutlich (Abb. 2).

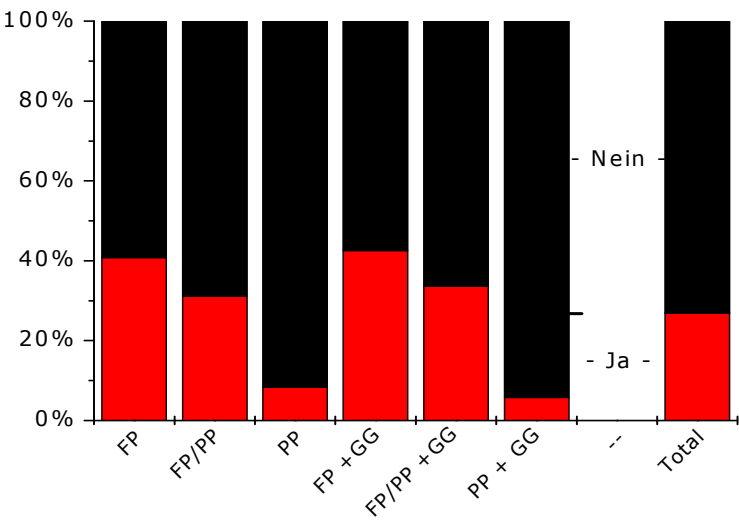


Abb. 2: Häufigkeit pathologischer Veränderungen der Lebern in Abhängigkeit vom eingesetzten Futter.

Versuch 2: Rein pflanzlich, Blutmehl

Die Forellen nahmen das Futter gut an. Mit rein pflanzlichem Futter gefütterte Forellen unterschieden sich äußerlich nicht von den Fischen, die die anderen beiden Futter erhalten hatten. Die Futterleistung entsprach dem Versuch 1. Das Endgewicht war bei allen drei Versuchsfuttern gleich. Allerdings waren die Futterverwertung und das Wachstum bei Einsatz von Blutmehl geringfügig, aber doch signifikant verschlechtert. Die Fettverdaulichkeit verschlechterte sich signifikant ($p < 0.05$) mit steigendem pflanzlichem Proteinanteil. Beim rein pflanzlichen Futter war die Proteinverdaulichkeit am besten ($p < 0.05$). Der Kot aus den verschiedenen Futtermischungen unterschied sich optisch sehr stark. So führte die Blutmehlzugabe zu einer sehr starken Dunkelfärbung (Abb. 3).



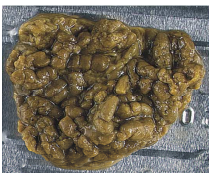
Standard



Hämoglobin



Rein pflanzlich



Standard +
Guar gum



Hämoglobin +
Guar gum



Rein pflanzlich +
Guar gum

Abb. 3: Optische Unterschiede in der Kottextur und -färbung in Abhängigkeit von der Guar gum-Einmischung und den verwendeten Rohstoffquellen

Rein rechnerisch war die Reinigungsleistung eines Trommelfilters mit 100µm Maschenweite für das Standard- und das Hämoglobin-futter gleich, mit nur geringen Verbesserungen durch die Binderzugabe (Tab. 5). Beim rein pflanzlichen Futter war die berechnete Reinigungsleistung dagegen deutlich schlechter, der Guar gum-Zusatz zeigte erst bei Maschenweiten > 100µm den gewohnten positiven Effekt.

Tab. 5: Kumulativer Volumenanteil der Feststoffe, die kleiner als die angegebene Partikelgröße (Mittelwert ± Standardabweichung) in Abhängigkeit von verwendeten Rohstoffquellen und Binderzusatz sind. Die Unterschiede zwischen Kontrolle und Versuchsfutter sind jeweils signifikant ($p < 0.001$) mit Ausnahme ‚Rein pflanzlich‘ bei 100 µm

Partikelgröße	Standard		Hämoglobin		Rein pflanzlich	
	Kontrolle	+ Guar gum	Kontrolle	+ Guar gum	Kontrolle	+ Guar gum
< 100µm	17,8% ± 1,3%	12,1% ± 1,0%	17,1% ± 1,7%	13,2% ± 0,9%	30,4% ± 1,6%	30,8% ± 2,0%
< 600µm	71,3% ± 2,4%	35,7% ± 1,7%	72,7% ± 4,0%	43,3% ± 2,4%	95,0% ± 2,0%	76,7% ± 1,8%

Versuch 3: Regenbogenforelle, Bachforelle, Seesaibling

In diesem Versuch wurde das rein pflanzliche Futter aus Versuch 2 an Regenbogenforellen, Seesaiblingen und Bachforellen verfüttert. Regenbogenforellen und Seesaiblinge zeigten identisches Wachstum, während das der Bachforellen deutlich schlechter war (Abb. 4). Vermutlicher Hauptgrund für dieses schlechtere Wachstum der Bachforellen war ihre geringere Futteraufnahme. Regenbogen-

forellen und Seesaiblinge fraßen die Tagesration von 1.2 % des Körpergewichts problemlos, die Bachforellen fraßen jedoch auch nach der Eingewöhnungszeit nur eine deutlich geringere Ration. Offensichtlich „schmeckte“ das pflanzliche Futter den Bachforellen nicht. Man konnte beobachten, wie Bachforellen Futterpellets aufnahmen, diese aber nach kurzer Zeit wieder ausspuckten. Auch Regenbogenforellen und Seesaiblinge hatten nach der Futterumstellung eine etwas längere Zeit benötigt, um sich auf das rein pflanzliche Futter umzustellen, fraßen nach der Umstellung aber völlig normal.

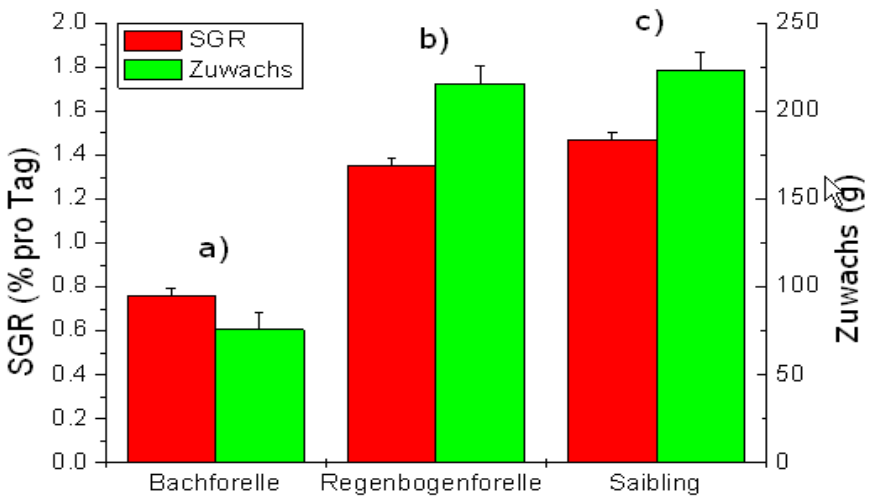


Abb. 4: Wachstumsraten der drei Salmonidenarten, die mit dem rein pflanzlichen Futter gefüttert worden waren (unterschiedliche Buchstaben verweisen auf signifikante Unterschiede).

Diskussion

Die hier vorgestellten Versuche zeigen, dass die Entwicklung von Forellenfuttern noch lange nicht zu Ende ist. Insbesondere die Reduktion der Belastung aus der Fischproduktion kann noch deutlich verbessert werden. Die Zusammensetzung der kommerziellen Forellenfutter hat sich in den letzten Jahren immer wieder geändert. Die Gründe hierfür sind vielfältig. So haben sich z. B. die rechtlichen Bedingungen geändert. In Folge der BSE-Krise 1999 war in der EU ein Verbot der Verwendung von Warmblüter-Tiermehl in der Tierproduktion (und damit auch in der Fischproduktion) ausgesprochen worden. Heute ist jedoch die Verwendung von Nichtwiederkäuer-Tiermehl im Fischfutter wieder erlaubt. Blutmehl/Hämoglobinmehl von Schweinen ist ein phosphorarmer, leicht verdaulicher Proteinträger, der mittlerweile den meisten Forellenfuttern wieder zugesetzt wird, so auch in einem Teil der Versuchsfutter. Hämoglobinmehl hat eine stabilisierende Wirkung auf den Fischkot, so dass die Zugabe des Binders Guar gum die Kotstabilität zwar erhöhte, der Effekt aber bei sehr kleinen Partikeln und geringer Wasserturbulenz kaum auffällt, in turbulentem Wasser aber sehr wohl zum Tragen kommen dürfte.

Der drastische Preisanstieg der tierischen Komponenten Fischmehl und Fischöl in den letzten Jahren wie auch der steigende Bedarf in anderen Sparten der Tierernährung führten dazu, dass die Futtermittelhersteller nach Alternativen schauten. Erste Versuche, Fisch-

mehl durch Eiweiß pflanzlicher Herkunft zu ersetzen, hatten jedoch zu massiven gesundheitlichen Problemen bei den Fischen geführt, da solche Futtermittel die Erfordernisse der Fische nur teilweise erfüllten. Mittlerweile sind jedoch das Wissen um diese Probleme und die Lösungsmöglichkeiten deutlich erweitert worden, und mittlerweile stammt auch in den kommerziellen Futtermitteln ein beträchtlicher Teil des Eiweißes aus pflanzlicher Herkunft. Bei weiter steigenden Preisen dürfte dieser Anteil weiter zunehmen.

Dass rein pflanzliche Futter für fleischfressende Fische wie Forellen möglich sind, ist nicht neu. Neu ist vielmehr, dass das hier verwendete rein pflanzliche Futter preislich nicht teurer, sondern vermutlich sogar etwas günstiger herzustellen wäre als das vergleichbare Futter mit Fett und Eiweiß aus überwiegend tierischer Herkunft. Neben gleichem Wachstum spricht der sehr gute Gesundheitszustand der Fische für pflanzliches Futter. Ein bisher noch nicht gelöstes Problem sind jedoch die kleinen Kotpartikel, die eine Ablaufwasserreinigung sehr erschweren bzw. deren Effektivität massiv verringern.

Schlussfolgerungen

Der Einsatz pflanzlicher Proteine führt zu einem guten Wachstum, einer guten Futterwertung, einer verbesserten Fischgesundheit, einer ordentlichen Produktqualität, aber leider auch zu einer sehr problematischen Wasserbelastung. Die Effekte sind jedoch deutlich artabhängig. Für Bachforellen erscheint das verwendete rein pflanz-

liche Futter nicht geeignet, da es nur sehr ungern aufgenommen wird. Die Verwendung von rein pflanzlichem Futter für Regenbogenforellen und Seesaiblinge ist möglich, vorausgesetzt, dass das Futter die ernährungsphysiologischen Anforderungen erfüllt. Das Problem, die Ablaufwasserbelastung möglichst gering zu halten, ist jedoch für rein pflanzliches Futter nicht gelöst. Die Kotpartikel sind wesentlich kleiner als mit „konventionellem“ Futter, somit kaum zu entnehmen und können insbesondere in Kreislaufsystemen die Gesundheit der Fische nachhaltig schädigen. Hier besteht noch großer Forschungsbedarf.

Literatur

Anonymous 2006. State of world aquaculture FAO fisheries department, Report Nr. 500, pp 134

Brinker, A., Schröder, H.G., Rösch, R. 2005. A high-resolution technique to size suspended solids in flow-through fish farms. *Aquaculture Engineering* 32: 325-341.

Brinker, A., Berg, R., Rösch, R. 2006. Neue Methoden in der Forellenzucht: Wege zur Minimierung der Ablaufwasserbelastung. *Berichte zur Fischereiforschung Baden-Württemberg*, Heft 10, 55 S.

Mechanisierung und Verfahrenstechnik als wichtige Elemente einer effektiven und Ressourcen schonenden Fischproduktion

Frank Rümmler

Zusammenfassung

Mechanisierung und Verfahrenstechnik sind die Teilgebiete des Technikeinsatzes in der Binnenfischerei.

Das Ziel der Anwendung von Mechanisierungsmitteln besteht in der Effektivitätssteigerung und der Vermeidung körperlich schwerer Tätigkeiten insbesondere beim Umschlag von lebenden Fischen und Futter.

Die Einteilung der Verfahrens- und Anlagentechnik der Fischproduktion wird anhand der Intensität der Wassernutzung in die Stufen einfacher Durchlauf, offener Kreislauf und geschlossener Kreislauf vorgenommen. Die verfahrenstechnischen Prinzipien und die grundsätzlichen anlagentechnischen Gestaltungen wurden dargestellt.

Heute steht eine Reihe von Verfahren mit unterschiedlichem spezifischem Frischwassereinsatz bis hin zu sehr Wasser sparenden Technologien zur Verfügung. Letztere werden zukünftig durch die Behörden immer mehr gefordert. Mit zunehmender Intensität der Wassernutzung steigen aber die Aufwendungen für die Wasser-

konditionierung und Entsorgung. Diesen kann in größeren Anlagen nur durch die Intensivierung der Produktion entgegengewirkt werden. In diesem Zusammenhang ist von der Verfahrenstechnik ein wesentlicher Beitrag erforderlich.

1. Kurze Systematisierung des Technikeinsatzes in der Fischproduktion

Der Technikeinsatz in der Binnenfischerei allgemein und speziell in der Teichwirtschaft und Aquakultur unterteilt sich in zwei verschiedene Gebiete, die Mechanisierung von Arbeitsprozessen und die binnenfischereiliche Verfahrenstechnik. Neben der praktischen Nutzung von Mechanisierungsmitteln und Fischproduktionsanlagen gehören auch die Planung und Projektierung sowie der Bau und die Errichtung von Anlagen und Teichen dazu. Als wichtige Voraussetzung für das „aquacultural engineering“ sind entsprechende technische, verfahrenstechnische und biotechnologische Erkenntnisse erforderlich.

Der rasante Anstieg der Arbeitskosten in den zurückliegenden Jahrzehnten erforderte auch in der Binnenfischerei eine drastische Reduzierung des Einsatzes an lebendiger Arbeit, die nur durch massiven Einsatz von Technik möglich wurde. Das betrifft insbesondere den Transport und den Umschlag von Fischen, Futtermitteln und Hilfsstoffen sowie die Teichpflege. Daneben stellt die Verfahrenstechnik zur Realisierung und Sicherung der Produk-

tionsabläufe in Anlagen eine elementare Voraussetzung für die heutige Fischproduktion dar. Als wichtige Teilprozesse gehören hierzu vor allem Wasserförderung, Fischhaltung, Wasserkonditionierung und -reinigung sowie Fütterung.

2. Mechanisierung

Die Mechanisierung von Arbeitsprozessen findet sich heute in allen Bereichen der Binnenfischerei wieder. Das Ziel der Mechanisierung besteht darin, durch den Einsatz von Werkzeugen und Maschinen Arbeitsprozesse effektiver zu gestalten, d. h. die Arbeitsproduktivität zu erhöhen sowie schwere körperliche Tätigkeiten zu reduzieren oder zu beseitigen.

Neben der Nutzung des Angebotes des allgemeinen (Land)Maschinen- und Fahrzeugbaus werden zweigspezifische Geräte und Maschinen für spezielle fischereiliche Aufgaben, wie z. B. Fischumschlag und Fütterung meist von kleinen spezialisierten Betrieben angeboten. Die Qualität der Erzeugnisse und der Grad ihrer Praxiserprobung sind unterschiedlich und gelegentlich auch nicht ausreichend. Daneben ist der Eigenbau einfacher Geräte und Anlagen in einigen Fällen eine Alternative. Die große Vielfalt der Arbeitsprozesse und damit der Anforderungen an die Werkzeuge und Maschinen sowie die Kleinheit des Wirtschaftszweiges wirken sich auf die Bereitstellung einer breiten Palette funktionell und qualitativ hochwertiger zweigspezifischer Mechanisierungsmittel

hemmend aus. Die Globalisierung der Märkte hat dieses Problem in den letzten Jahren aber spürbar gedämpft.

Zu den wichtigsten Arbeitsprozessen des Wirtschaftszweiges, die mechanisiert werden müssen, gehört der effektive und gleichzeitig schonende Umschlag lebender Fische. Hierzu sind Fischtransport, Besatz, Umsetzen und Abfischen zu zählen, die durch Konzentrieren, Fördern, Sortieren, Zählen und Wiegen der Fische sowie Belüftung und Begasung des Wassers als einzelne Arbeitsgänge realisiert werden. Daneben sind Futterumschlag und Futterausbringung ein wichtiges Feld der Mechanisierung. Weiterhin erfordert die Pflege und Instandsetzung vor allem der Karpfenteiche den Einsatz von Mechanisierungsmitteln.

Teilweise sind heute bei mechanisierten Arbeitsprozessen bereits Übergänge zum automatischen Ablauf vorhanden. Futterautomatenanlagen sind ein Beispiel dafür, vollautomatische Abläufe der des Förderns, Sortierens und Wiegens der Fische in großen dänischen Forellenanlagen ein anderes. Letztere Komplexe setzen sich aus folgenden Einzelgeräten bzw. Teilprozessen zusammen: selbstständig fahrendes Treibgitter zur Fischkonzentration im Fischhälter, ständig arbeitendes Doppelkammer-Vakuumsauggerät zur Förderung der Fische auf ein Rotationsstab-Sortiergerät, Sortierung in meist drei Fraktionen, horizontale Weiterleitung der einzelnen

Fraktionen durch Schläuche zu den einzelnen Hältern mit Wiegeeinrichtungen an den Schlauchenden.

Welche Größenordnung der derzeitige Fisch- und Futtermittelumschlag in Deutschland hat, kann auf der Basis der aktuellen Daten der Fischerzeugung dargestellt werden (s. a. KNÖSCHE u. RÜMMLER 1998). Im Jahr 2006 wurden ca. 10.500 t Speisekarpfen zuzüglich ca. 3.700 t Satzkarpfen erzeugt (BRÄMICK 2007). Unter Berücksichtigung eines einmaligen Umschlags der Satzfische und eines zweimaligen Umschlags der Speisekarpfen (Teich- und Hälterabfischung) waren rund 25.000 t Karpfen abzufischen, zu sortieren, zu wiegen und zu verladen. Bei einer Futtermittelverwertung von 1,6 kg/kg Abfischung für abgeschätzt etwa einem Drittel der Produktion waren ca. 7.600 t Futter zu lagern, umzuschlagen und zu verabreichen. Die Forellenproduktion betrug 2006 ca. 18.900 t Speisefische und etwa ca. 2.700 t Setzlinge (BRÄMICK 2007). Bei etwa viermaligem Umschlag durch Sortierungs- und Abfischungsvorgänge mussten rund 56.000 t Fisch abgefischt, sortiert, gewogen und verladen bzw. zurückgesetzt werden. Bei einer mittleren Futtermittelverwertung von 1,1 kg Futter pro kg Zuwachs waren ca. 20.200 t Futter zu lagern, umzuschlagen und zu verabreichen. Allein diese Modellrechnung und der rasante Anstieg der Arbeitskosten zeigen, dass die Binnenfischerei nur überleben konnte, weil der Mechanisierungsgrad ständig gesteigert wurde.

3. Verfahrenstechnik

3.1 Aufgaben der binnenfischereilichen Verfahrens- und Anlagentechnik

Die binnenfischereiliche Verfahrens- und Anlagentechnik hat die Aufgabe, die Haltungs- und Aufzuchtbedingungen für die Fische technisch zu realisieren und die notwendige Prozesssicherheit zu gewährleisten. Sie ist die Grundlage für die Gestaltung von Fischproduktionsanlagen. Dabei muss nicht nur die Hardware, d. h. die Anlagentechnik zur Verfügung gestellt werden. Es ist auch erforderlich, die verfahrenstechnischen und biotechnologischen Prozessparameter zu erarbeiten, die optimale Haltungsbedingungen und Produktionsabläufe sowie eine ökonomische Betriebsweise der Anlagen gewährleisten. Bei den verfahrenstechnischen Prozessen handelt es sich im Wesentlichen um Fließgutprozesse für das Hauptproduktionsmedium Wasser sowie gegebenenfalls Futter und Hilfsstoffe (z. B. Sauerstoff, Luft, alkalische Chemikalien), die in der Regel gute Voraussetzungen zur Automatisierung besitzen.

3.2 Grundanforderungen an Fischproduktionsanlagen

Fischproduktionsanlagen im eigentlichen Sinne sind durch das Vorhandensein von kleineren Teichen oder Becken zur Fischhaltung gekennzeichnet, durch die Wasser in ausreichender Menge und Qualität zur Gewährleistung der erforderlichen Lebensbedingungen der Fische hindurch geleitet wird. Netzgehegeanlagen und Karpfenteiche werden hierbei nicht weiter betrachtet. Gleichzeitig werden

den Fischen in den Fischhaltungseinrichtungen optimierte Trockenmischfuttermittel verabreicht, um den angestrebten Zuwachs zu erreichen. Daneben muss durch die Futterzusammensetzung und die Art der Futtermittelverabreichung eine möglichst geringe Belastung des Ablaufwassers erreicht werden.

Im Wesentlichen müssen folgende Haltungsbedingungen durch das Frischwasser oder nach entsprechender Wasserbehandlung in einem für die Fische günstigen Bereich gehalten werden: Sauerstoff- Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration (O_2 , NH_3 u. CO_2), Konzentration absetzbarer Stoffe, Temperatur in Warmwasseranlagen und zusätzlich Nitrit- und Nitratkonzentration (NO_2 u. NO_3) sowie pH-Wert in geschlossenen Kreislaufanlagen.

Die maximalen Fischbestandsdichten, die produktionsbiologisch noch optimal sind, liegen für die meisten Fischarten im adulten Altersstadium bei ca. 80 kg/m^3 . Im Endstadium der Aufzucht sind für Forellen (SCHRECKENBACH u. a. 1987), Satzkarpfen (RÜMMLER u. PFEIFER 1991), Aal (Angaben Fa. DANAFEED 2007) und verschiedene Welsarten (SCHOORL in BOHL u. a. 1999, OTTO-LÜBKER mündl. Mitt.) auch höhere Werte möglich.

Bei der Gestaltung der Fischhaltungseinrichtungen lassen sich zwei grundlegende Strömungsformen, die Längsströmung (z. B. in Rinnen und Kanälen) sowie die Zirkulationsströmung (z. B. in

Rundbecken) unterscheiden. In beiden Fällen besteht die Grundforderung darin, durch eine Strömungsgeschwindigkeit von ca. 3 cm/s (WESTERS u. PRATT 1977, WESTERS 1991, TIMMONS u. YOUNGS 1991) und die Turbulenzen der Fischbewegungen Kot, Schwebstoffe und Futterreste mit dem abfließenden Wasser möglichst weitgehend auszutragen und Schlammablagerungen, die zur Ausbildung anaerober Zonen führen können, zu verhindern. Beide Strömungsformen ziehen unterschiedliche Anforderungen an die Gestaltung der übrigen Anlagentechnik nach sich.

Andere Voraussetzungen bestehen in langsam durchflossenen Forellenteichen. Hier sedimentiert der Kot in größerem Umfang in den Haltungseinrichtungen und wird in bestimmten zeitlichen Abständen nach der Trockenlegung der Teiche entfernt.

Neben der Fischhaltung gibt es eine Reihe weiterer wichtiger Teilprozesse, die in den verschiedenen Anlagentypen der Fischproduktion in unterschiedlichem Umfang zu realisieren sind: Wasserförderung, Sauerstoffanreicherung, Fütterung, mechanische Reinigung von Kreislaufwasser, Ablaufwasser und Reinigungswasser, Wassertemperierung, biologische Reinigung in geschlossenen Kreisläufen und weitere Wasserbehandlungsprozesse wie Entgasung, UV-Entkeimung, Ozonisierung und pH-Stabilisierung.

3.3 Einteilung der Anlagengestaltungen nach der Intensität der Wassernutzung

Für die Höhe der Fischproduktion in Beckenanlagen und Forellenteichen sowie die Art und Weise des Verfahrensablaufs und der Anlagengestaltung spielt die verfügbare Wassermenge als Hauptressource der Fischproduktion die entscheidende Rolle. Daneben ist natürlich auch eine geeignete Wasserqualität des genutzten Frischwassers erforderlich.

Zur Charakterisierung der unterschiedlichen Nutzungsintensitäten des Wassers bzw. die Unterscheidung und Dimensionierung verschiedener Anlagentypen ist der spezifische Frischwassereinsatz in m^3/h pro Tonne Fischhaltebestand ein geeigneter Parameter. Für spezielle Betrachtungen lassen sich auch die inversen Kenngrößen Haltebestand, Futtereinsatz oder Zuwachs pro m^3/h oder l/s genutztem Frischwasser heranziehen.

Eine Unterteilung der Anlagen- und Verfahrenstechnik der Fischproduktion nach der Intensität der Wassernutzung lässt sich in folgende Stufen vornehmen: einfacher Durchlauf, offener Kreislauf, teilgeschlossener Kreislauf, geschlossener Kreislauf und geschlossener Kreislauf mit Denitrifikation. Hinzu kommt für einzelne Stufen eine Unterteilung nach Kalt- und Warmwasseranlagen. In Deutschland haben die ersten beiden Intensitätsstufen für

Kaltwasseranlagen, d. h. die Forellenproduktion, die größte praktische Bedeutung.

3.4 Einfacher Durchlauf

Beim einfachen Durchlauf wird die Sauerstoffversorgung des Fischbestandes nur durch das zufließende Wasser gesichert. Die mögliche Höhe des Fischhaltebestandes ergibt sich aus dem Sauerstoffmassenstrom, den die Fische aus dem Frischwasser bis zur Erreichung der (festgelegten) Minimalkonzentration entnehmen können; oder umgekehrt, der erforderliche Frischwasserdurchfluss wird durch den Sauerstoffbedarf des Fischbestandes bestimmt.

Die Sauerstoffkonzentration sollte bei der Forellenaufzucht möglichst nahe dem Sättigungswert der Luft liegen oder mindestens 7,0 mg/l erreichen (SCHRECKENBACH u. a. 1987, COLT u. a. 1991, SCHÄPERCLAUS u. LUKOWICZ 1998). Bei der Aufzucht von Karpfen und anderen Warmwasserfischen in Beckenanlagen beginnt der Optimalbereich bei 5 mg/l (SCHRECKENBACH 2002).

Die verfahrenstechnische Umsetzung des einfachen Durchlaufs beschränkt sich auf die Haltungseinrichtungen und gegebenenfalls Fütterungstechnik sowie die Zu- und Ableiter des Wassers.

Beim einfachen Durchlauf ergeben sich durch die geringe O₂-Konzentrationsdifferenz, die für die Fische aus dem zufließenden

Wasser nutzbar ist, hohe Wasserwechselraten in den Haltungseinrichtungen. Dadurch kommen für den einfachen Durchlauf in erster Linie Längsbecken in Frage.

Der einfache Durchlauf wird bei den in Deutschland verfügbaren Wassermengen vorrangig in kleineren Anlagen der Forellenerzeugung angewandt. Vielfach werden die ostdeutschen Betonrinnenanlagen zur Vermeidung der Kosten für die Belüftung nur noch im einfachen Durchlauf betrieben.

Bei einem mittleren spezifischen Sauerstoffbedarf der Fische von $250 \text{ g/t} \cdot \text{h}$, 95 % O_2 -Sättigung im Zulaufwasser sowie einer Sauerstoffkonzentration von 7 mg/l im Ablauf ergibt sich bei Temperaturen von $12 - 16 \text{ }^\circ\text{C}$ ein spezifischer Frischwassereinsatz von $104 - 78 \text{ m}^3/\text{t} \cdot \text{h}$ (Tafel 1).

Das Ablaufwasser der Anlagen im einfachen Durchlauf muss aufgrund der geringen Belastung nach den gegenwärtig geltenden Emissionsanforderungen (LAWA 2003) und der abschätzbaren Immissionswirkung in der Regel nicht gereinigt werden. Das bei der Reinigung der Haltungseinheiten sowie der übrigen Anlagenteile anfallende Wasser muss aber bei allen Anlagentypen separat aufbereitet werden.

$$FW_{SO_2} = \frac{OV(F)_S}{c_{EO_2} - c_{AO_2}} = 78 - 104 \text{ m}^3/\text{t} \cdot \text{h}$$

FW_{SO_2} - spezifischer Frischwassereinsatz ($\text{m}^3/\text{t} \cdot \text{h}$),
 O_2 begrenzend

$OV(F)_S$ - spezifischer Sauerstoffverbrauch
der Fische ($250 \text{ g}/\text{t} \cdot \text{h}$)

c_{EO_2} - O_2 - Zulaufkonzentration ($9,4 - 10,2 \text{ mg}/\text{l}$ entspricht 95 % Sättigung bei $12 - 16 \text{ }^\circ\text{C}$)

c_{AO_2} - O_2 - Ablaufkonzentration ($7,0 \text{ mg}/\text{l}$)

Tafel 1: Berechnung des spezifischen Frischwassereinsatzes FW_{SO_2} für den einfachen Durchlauf

3.5 Offener Kreislauf

Lässt sich die zufließende Wassermenge nicht erhöhen, so ist die künstliche Sauerstoffanreicherung der erste Schritt zur Steigerung des Fischhaltebestandes bzw. der Intensität der Wassernutzung. Früher kam dazu ausschließlich die Belüftung des Wassers zur Anwendung. In den letzten Jahrzehnten ist die Begasung des Wassers mit technischem Sauerstoff als weiteres Standardverfahren hinzugekommen.

Durch die Sauerstoffanreicherung kann der Frischwassereinsatz gegebenenfalls soweit reduziert werden, bis die Konzentration des fischtoxischen Ammoniaks (NH_3) im Haltungswasser die Höhe des Fischbestandes begrenzt. Die Fische scheiden Ammoniak als End-

produkt des Eiweißstoffwechsels über die Kiemen aus, der im Wasser überwiegend als Ammonium (NH_4) vorliegt. Zusätzlich bildet sich Ammonium durch die Zersetzung von Kot und Futterresten. Die NH_3 -Konzentration im Wasser ergibt sich aus dem pH- und temperaturabhängigen Dissoziationsgleichgewicht von Ammonium und Ammoniak. Als NH_3 -Grenzwerte bei längerer Einwirkungszeit gelten für adulte Forellen 0,01 mg/l und für Karpfen 0,02 mg/l (SCHRECKENBACH u. a. 1987).

Da ursprünglich größere Wassermengen vom Auslauf zum Einlauf der Fischhaltung über Belüftungseinrichtungen umgepumpt wurden, bezeichnet man dieses Verfahren auch als offenen Kreislauf. Heute sprechen wir allgemein beim Vorhandensein einer künstlichen Sauerstoffanreicherung vom offenen Kreislauf oder offenen Systemen (KNÖSCHE u. RÜMMLER 1998).

Für adulte Forellen wurde in der Praxis ein minimaler spezifischer Frischwassereinsatz des offenen Kreislaufs von unter 5 bis 20 $\text{m}^3/\text{t} \cdot \text{h}$ empirisch ermittelt (SCHRECKENBACH u.a. 1987, SPECCE 1973, BERGER 1978, ALBRECHT 1978). Bei der Warmwasser-Satzkarpfenproduktion liegt dieser Wert mit 5 bis 10 $\text{m}^3/\text{t} \cdot \text{h}$ in ähnlicher Größenordnung (SCHRECKENBACH u. a. 1987, RÜMMLER u. PFEIFER 1987, 1991).

Optimale Sauerstoffkonzentrationen im Bereich des Sättigungswertes der Luft, die durch den Einsatz der Sauerstoffbegasung erreicht werden können, ermöglichen einen reduzierten Frischwassereinsatz mit Werten am unteren Ende der angegebenen Bereiche (SPECCE 1973, RÜMMLER u. PFEIFER 1987, 1991). Gleichzeitig lassen sich durch erhöhte Sauerstoffkonzentrationen nach allgemeinen Erfahrungen Verbesserungen der Futtermittelverwertung, des Wachstums und der Überlebensrate der Fische erzielen (RÜMMLER u. a. 2008). Außerdem ist der Energieaufwand niedriger als bei der herkömmlichen Belüftung. Zum Teil sind auch bereits die Kosten pro Kilogramm eingetragenen Sauerstoff im Vergleich zur Belüftung günstiger. Bei konstanter Frischwassermenge ist durch den Einsatz der Sauerstoffbegasung eine Erhöhung des Fischbestandes und in der Regel auch eine Verbesserung der Ökonomie der Produktion möglich (RÜMMLER u. a. 2008). Mit zunehmender Höhe des notwendigen künstlichen Sauerstoffeintrags hat die Sauerstoffbegasung gegenüber der herkömmlichen Belüftung biotechnologische und ökonomische Vorteile.

Rechnerisch können die empirisch ermittelten Werte des minimalen spezifischen Frischwassereinsatzes beim offenen Kreislauf ebenfalls nachvollzogen werden. Dazu muss die Ammoniumexkretion der Fische quantifiziert werden. Diese hängt vor allem von der mit dem Futter aufgenommenen Proteinmenge und dem Energie-Protein-Verhältnis des Futters ab (KAUSNIK 1981, SCHRECKENBACH 1993).

Nach eigenen Messungen und Literaturangaben (SPEECE 1973, KAUSNIK 1981, SCHRECKENBACH u.a. 1987, PETIT 1990, WESTERS 1991) kann bei günstigen Temperaturen von einer mittleren Ammoniumexkretion adulter Forellen von ca. 18 g/t*h ausgegangen werden. Daraus ergeben sich bei pH-Werten im Bereich von 7,5 - 7,0 sowie Temperaturen von 12 – 16 °C Werte des minimalen spezifischen Frischwassereinsatzes von 4 –18 m³/t*h (Tafel 2, Tab. 1). Derartige Werte lassen sich für Forellen aber nur bei sehr guter Frischwasserqualität, günstigen Temperaturen, den angegebenen pH-Werten sowie einem ausgewogenen Energie-Protein-Verhältnis des Futters erreichen. Es muss weiterhin berücksichtigt werden, dass neben dem Sauerstoffverbrauch und die CO₂-Abgabe der Fische auch die Ammoniumexkretion neben der Fischart und -größe von der Wassertemperatur, der Futterart, -menge und -verwertung sowie dem Fütterungsrhythmus abhängen und damit auch tageszeitlichen Schwankungen unterliegen.

$$FW_{\text{SNH}_4} = \frac{NH_4E(F)_S}{c_{\text{ANH}_3} * (1 + 10^{(10,068 - 0,033 * T - \text{pH})}) - c_{\text{ENH}_4}} = 3,9 - 17,9 \text{ m}^3 / \text{t} * \text{h}$$

FW_{SNH_4} - spezifischer Frischwassereinsatz (m³/t*h), NH₄ begrenzend
 $NH_4E(F)_S$ - spezifischer NH₄- Exkretion der Fische (18 g/t*h)
 c_{ENH_4} - NH₄- Zulaufkonzentration (0,1 mg/l festgelegt)
 c_{ANH_3} - NH₃ - Grenzwert am Ablauf (0,01 mg/l für Speiseforellen)
 T - Temperatur (12 - 16 °C)
 pH - pH - Wert (7,0 - 7,5)

Tafel 2: Berechnung des spezifischen Frischwassereinsatzes beim offenen Kreislauf (s. a. PETIT 1990)

Tab. 1: Ergebnisse der Berechnung des spezifischen Frischwassereinsatzes beim offenen Kreislauf nach Tafel 2

pH	Temperatur (°C)	NH ₃ -Grenzwert c _{ANH3} (mg/l)	NH ₄ -Wert (aus c _{ANH3}) c _{ANH4} (mg/l)	Zulaufkonzentration c _{ENH4} (mg/l)	NH ₄ -Exkretion der Fische (g/t*h)	FW _S (m ³ /t*h)
7	12	0,01	4,7	0,1	18,0	3,9
7,5	12	0,01	1,5	0,1	18,0	12,9
8	12	0,01	0,5	0,1	18,0	47,4
7	16	0,01	3,5	0,1	18,0	5,3
7,5	16	0,01	1,1	0,1	18,0	17,9
8	16	0,01	0,4	0,1	18,0	70,1

Beim Einsatz der Sauerstoffbegasung wird häufig eine sehr hohe Sauerstoffbeladung des Wassers bei vergleichsweise geringen Wasserdurchflüssen und geringem Gasaustausch mit der Atmosphäre vorgenommen. Die Atmung der Fische ist neben der Sauerstoffaufnahme mit einer ca. 1,2- bis 1,4-fachen Abgabe von Kohlendioxid verbunden (KUTTY 1968, COLT u. a. 1991, RÜMMLER 2003). Die CO₂-Abgabe der Fische führt unter diesen Bedingungen zu hohen CO₂-Konzentrationen im Haltungswasser (COLT u. WATTEN 1988, COLT u. a. 1991). Die gegenwärtig überwiegend eingesetzten Begasungsverfahren mit Sauerstoffverlusten von 20 % und mehr (Tab. 2) haben in der Regel eine ausreichende Stickstoffentgasung und damit höchstwahrscheinlich auch eine Entfernung höherer CO₂-Konzentrationen aus dem Wasser zur Folge (RÜMMLER 2008). Zusätzlich muss auf die meist unterschiedlichen CO₂-Verhältnisse bei der Nutzung von Quellbächen im Gebirge und Bächen oder Flüssen im norddeutschen Tiefland hingewiesen werden. Hohe CO₂-Werte führen daneben auch zu einem leichten Absinken des pH-

Wertes im Wasser. Als positiver Nebeneffekt verringert sich dadurch die Konzentration des toxisch wirkenden Ammoniaks (COLT u. WATTEN 1988, COLT u. a. 1991). Insbesondere bei der Warmwasserproduktion im offenen Kreislauf und in Teich-in-Teich-Anlagen ist dieser Effekt von Bedeutung (PFEIFER 1987, RÜMMLER 2003, RÜMMLER u.a. 2007).

Tab. 2: Schema von drei gebräuchlichen Begasungsverfahren und deren Kostenaufwand pro kg eingetragenen Sauerstoff als Summe der Elektroenergie- und Sauerstoffkosten sowie der Abschreibungen, Betriebsdauer 214 Tage pro Jahr, Daten nach RÜMLER 2005, 2008, RÜMLER u. a. 2008 (Elektroenergiekosten 0,15 €/kWh, Sauerstoffkosten 0,16 €/kg)

Bezeichnung	druckloser Reaktor	schwimmender Niederdruckbegaser	Strahlenreaktor mit 1 m Gefälle
Schema			
bevorzugter Einsatz	Kreislauf	auf Teichen, Becken und Zuleitern	Zuleiter, Beckenzuläufe mit Gefälle > 30 cm
Abschreibungen €/kgO ₂ Eintrag	0,103	0,024	0,039
Elektroenergie kW* h/kgO ₂ Eintrag	2,4	0,56	
Sauerstoff kgO ₂ /kgO ₂ Eintrag	1,3	1,25	1,33
Kosten €/kgO ₂ Eintrag	0,67	0,33	0,25

Bei der Anlagen- und Verfahrensgestaltung des offenen Kreislaufs ergibt sich das Problem, dass der erforderliche Wasserdurchfluss durch die Fischhaltungseinrichtungen, der erforderliche Wasserdurchfluss für den Sauerstoffeintrag und der erforderlichen Wasserdurchfluss zur Begrenzung der Konzentration des fischtoxischen Ammoniaks (NH_3) im Haltungswasser unterschiedlich sein können und bei der Konzeption einer Anlage aufeinander abgestimmt werden müssen.

Ist das Verhältnis der erforderlichen Durchflüsse zur Sauerstoffanreicherung FW_{SO_2} und zur NH_3 -Begrenzung FW_{SNH_4} größer als eins, so ist ein Betrieb der Sauerstoffanreicherung im Kreislauf zur Fischhaltung notwendig. Das Verhältnis $\text{FW}_{\text{SO}_2} / \text{FW}_{\text{SNH}_4}$ gibt dann die notwendige Kreislauftrate n an (Tafel 3). Insbesondere die niedrige Auslaufkonzentration von Belüftungseinrichtungen macht eine Kreislaufführung erforderlich (Beispiel 1, Tafel 3). Für größere Haltungseinrichtungen ist statt der Kreislaufführung auch eine Installation der Belüftungs- oder Begasungseinrichtung direkt in den Becken oder Teichen möglich (Innenbelüftung oder -begasung). Bei einem Verhältnis $\text{FW}_{\text{SO}_2} / \text{FW}_{\text{SNH}_4}$ unter eins ist die Installation der Sauerstoffanreicherung im Zulauf oder in den Fischhaltungseinrichtungen ausreichend. Insbesondere bei der O_2 -Hochanreicherung durch die Sauerstoffbegasung kann diese Gestaltung angewandt werden (Beispiel 2, Tafel 3). Zusätzlich muss der erforderliche Durchfluss bzw. die erforderliche Wasserwechselrate

der Haltungseinheiten beachtet werden, um den Austrag des Kots zu gewährleisten.

$\frac{OV(F)_S}{FW_{SO_2}}$	
$\frac{FW_{SO_2}}{FW_{SNH_4}} = \frac{c_{EO_2} - c_{AO_2}}{FW_{SNH_4}} > 1 = n$	n - Kreislauftrate
1. Beispiel: $FW_{SNH_4} = 20 \text{ m}^3/\text{t} \cdot \text{h}$, $c_{EO_2} = 6 \text{ mg/l}$, $c_{AO_2} = 10 \text{ mg/l}$, $FW_{SO_2} / FW_{SNH_4} = 3,13 = n$	
2. Beispiel: $FW_{SNH_4} = 10 \text{ m}^3/\text{t} \cdot \text{h}$, $c_{EO_2} = 7 \text{ mg/l}$, $c_{AO_2} = 35 \text{ mg/l}$, $FW_{SO_2} / FW_{SNH_4} = 0,89$	
$FW_{SO_2} / FW_{SNH_4} > 1$	$WW = \frac{Q_H}{V_H} = FW_{SNH_4} \cdot (n + 1) \cdot BD$
O ₂ -Konzentration im Frischwasserzulauf c_{FO_2} = O ₂ -Konzentration im Ablauf der Produktionseinheiten c_{PO_2}	
$FW_{SO_2} / FW_{SNH_4} > 1$	$WW = \frac{Q_H}{V_H} = FW_{SNH_4} \cdot BD$
FW _{SO₂} - spezifischer Wasserdurchfluss zur Sicherung des erforderlichen O ₂ -Eintrags (m ³ /t·h)	
n	- Kreislauftrate
c _{AO₂}	- O ₂ - Konzentration am Auslauf der Belüftungs- oder Begasungseinrichtung (mg/l),
c _{EO₂}	- O ₂ - Konzentration am Einlauf der Belüftungs- oder Begasungseinrichtung (mg/l) = Auslaufkonzentration der Fischhaltungseinrichtungen bei n > 1
WW	- Wasserwechselrate in den Fischhaltungseinheiten (h ⁻¹)
Q _H	- Wasserdurchfluss durch die Fischhaltungsbecken (m ³ /h)
V _H	- Wasservolumen der Fischhaltungsbecken (m ³)
BD	- Fischbestandsdichte (t/m ³)

Tafel 3: Berechnung der Kreislauftrate und des Wasserwechsels in den Fischhaltungseinrichtungen beim offenen Kreislauf

Die möglichen Anordnungen der Belüftungs- oder Begasungseinrichtung bei der technischen Realisierung des offenen Kreislaufs sind in Abb. 1 dargestellt. Die Kreislaufführung eines Wasserstroms vom Auslauf zurück zum Einlauf der Fischhaltung über Belüftungs- oder Sauerstoffbegasungseinrichtungen ist die herkömmliche Variante. Die Sauerstoffanreicherung direkt in den Fischhaltungseinrichtungen, z. B. in Forellenteichen, wird ebenfalls häufig angewandt. Insbesondere beim Einsatz der Sauerstoffbegasung kann die Sauerstoffanreicherung des zufließenden Wassers, u. U. auch nur eines Teilstroms ausreichend sein. Auch eine O₂-Hochanreicherung im Zulauf und eine zusätzliche Kreislaufführung ohne Sauerstoffanreicherung zur Gewährleistung ausreichender Strömungsverhältnisse und zur Verhinderung großer O₂-Konzentrationsschwankungen in den Haltungseinheiten ist möglich. Schließlich ist auch der kombinierte Einsatz mehrerer der aufgeführten Gestaltungen sowie von Belüftungs- und Sauerstoffbegasungsverfahren gebräuchlich.

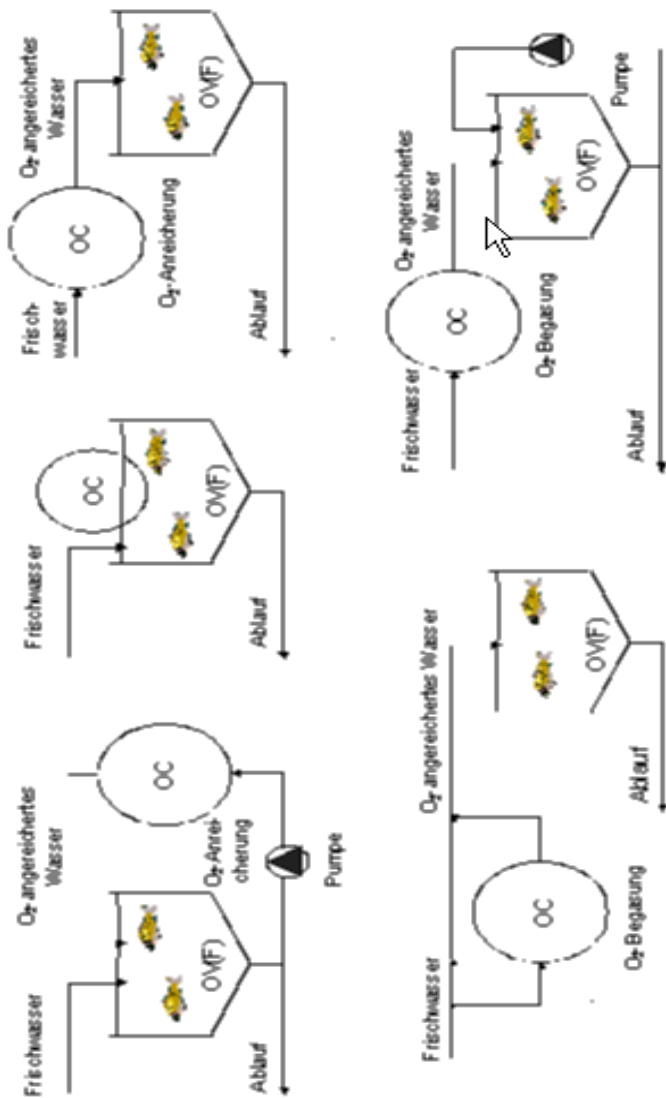


Abb. 1: Verschiedene Anordnungen der Belüftungs- oder Begasungseinrichtung zur technischen Realisierung des offenen Kreislaufs (o.l. Kreislauf, o.m. in den Teichen oder Becken, o.r. im Zulauf, u.l. Teilstromanreicherung im Zulauf, u.r. O₂-Hochanreicherung im Zulauf und zusätzliche Kreislauf-führung ohne Sauerstoffanreicherung, OC - Sauerstoffeintrag)

In den vor 1990 erbauten Forellentrassenanlagen Ostdeutschlands wurde eine bis zu dreifache Kreislaufführung der Frischwassermenge über Belüftungskaskaden oder Tosbecken vorgenommen (SCHRECKENBACH u. a. 1987, KNÖSCHE u. RÜMMLER 1998, RÜMMLER u. a. 2008). Der Energieaufwand liegt hier im Bereich von 2,7 bis 10 kW/kg O₂ (KNÖSCHE u. RÜMMLER 1998, RÜMMLER u. a. 2008) und ist heute als sehr hoch einzustufen. Zur Verbesserung der Situation wurden teilweise O₂-Begasungseinrichtungen im Zulauf oder im Kreislauf installiert (Abb. 2).

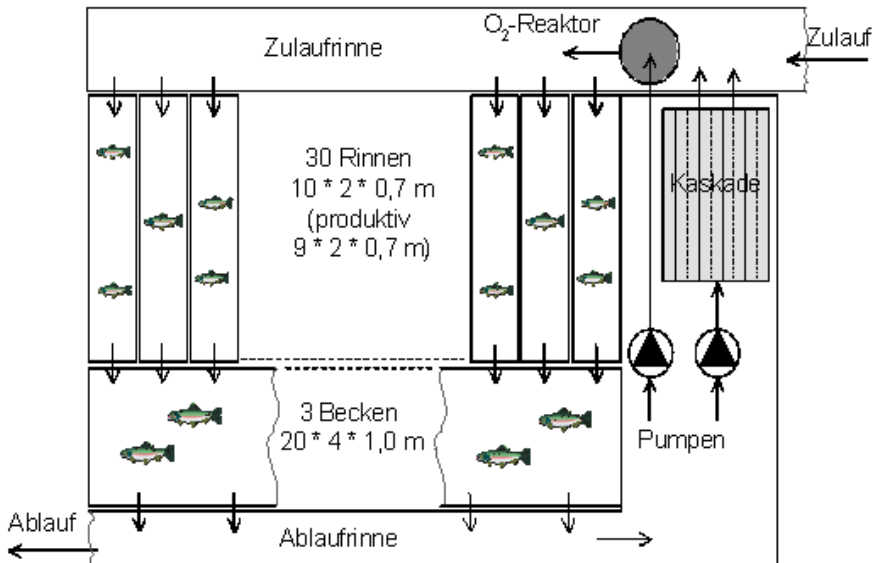


Abb. 2: Schema einer ostdeutschen Forellentrassenanlage mit Belüftungskaskade und nachgerüstetem Sauerstoffbegasungsreaktor im offenen Kreislauf (RÜMMLER u. a. 2008)

Für die Sauerstoffbegasung im Kreislauf eignen sich in erster Linie Begasungsreaktoren (Tab. 2). Der Kostenaufwand eines untersuchten Gerätes von ca. 0,67 € pro kg eingetragenen Sauerstoff ist gegenüber anderen Begasungsverfahren relativ hoch (RÜMMLER u. a. 2008).

Schwimmende Niederdruckbegaser haben eine breite Anwendung auf Teichen und größeren Fischhaltebecken insbesondere bei der Forellenproduktion gefunden (Tab. 2). Der Kostenaufwand für den Sauerstoffeintrag ist hier mit 0,33 €/kg eingetragenen Sauerstoff (RÜMMLER 2008) relativ niedrig. Aber auch auf großen Längsbecken beim neu entwickelten Teich-in-Teich-Verfahren in Karpfenteichen (RÜMMLER u. a. 2007) und auf Becken geschlossener Kreislaufanlagen zur Aufzucht Europäischer Welse (RÜMMLER 2008 unveröffentlicht) werden diese Geräte eingesetzt.

Beim Vorhandensein eines Gefälles am Anlagenzulauf und beim Wasserzufluss zu tiefer gelegenen Becken, Kanälen oder Teichen können Strahlenreaktoren oder LHO-Geräte nach US-amerikanischem Vorbild (CLARK 2003) ohne zusätzliche Energie eingesetzt werden. Hier beschränken sich die Kosten auf die Investition und den Sauerstoff (Tab. 2).

Mehr oder weniger als Nebenprodukt einer sehr viel weiter greifenden Entwicklung in Dänemark wurden in Deutschland drei offene

Kreislaufanlagen mit jeweils zwei gegenparallel durchströmten Fließkanälen errichtet (Abb. 3).

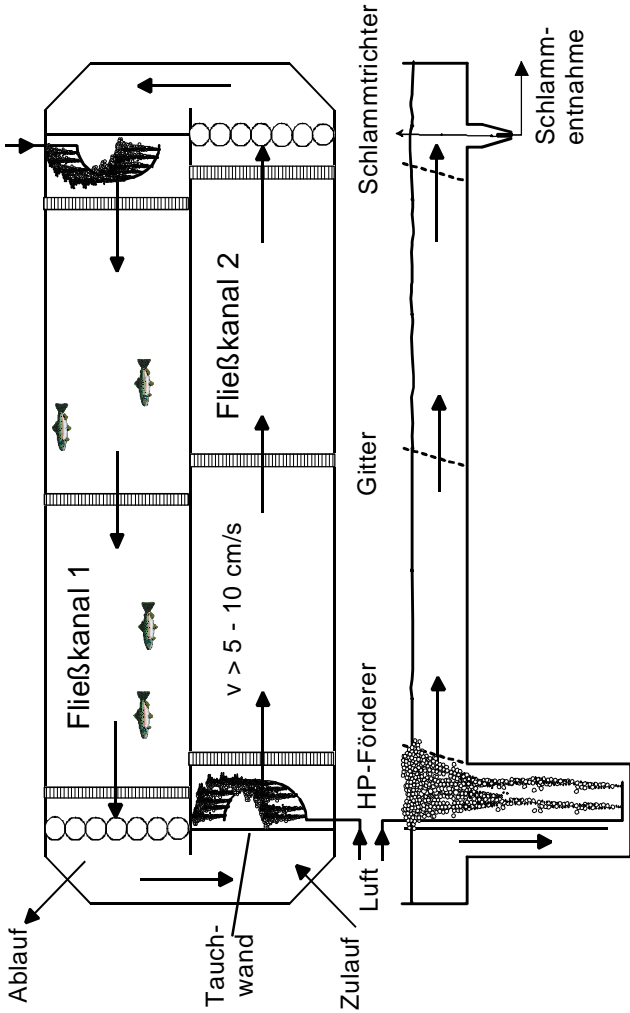


Abb. 3: Schema einer Fließkanalanlage im offenen Kreislauf nach dänischem Vorbild (ohne Biofilter)

In Dänemark werden diese Anlagen mit Mammutpumpen betrieben, die der Strömungserzeugung und Kreislaufführung sowie gleichzeitig der Sauerstoffanreicherung dienen. Aufgrund der auftretenden Gasüberspannungen und der hohen Elektroenergiekosten ist es in Deutschland sinnvoll, die Mammutpumpen mit geringerer Einblas-tiefe zur Minimierung der Stickstoffübersättigungen zu betreiben und im Wesentlichen nur zur Strömungserzeugung einzusetzen. Die Sauerstoffversorgung des Fischbestandes wird überwiegend durch eine zusätzlich installierte Sauerstoffbegasung vorgenommen. Hier haben sich schwimmende Niederdruckbegaser ebenfalls als gut geeignet erwiesen. In Dänemark sind diese Fließkanalanlagen zusätzlich mit einem Biofilter ausgerüstet.

Für Anlagen mit offenem Kreislauf können bereits Maßnahmen zur Verringerung der Nährstoffbelastung und der organischen Belastung des Ablaufwassers erforderlich sein. Die geltenden Emissionsanforderungen sind in den „Hinweisen zur Verringerung der Wasserbelastung durch die Fischzucht“ (LAWA 2003) aufgeführt. Die Reinigung des Ablaufwassers durch Mikrosiebe oder Absetzbecken ist unter der Voraussetzung eines Verhältnisses von Fischhaltebestand zu Jahreszuwachs von 1:3 bis 1:2,5 bei einem spezifischen Frischwassereinsatz von ca. 20 m³/t*h erforderlich. Daneben können bei geringem spezifischen Frischwassereinsatz sowie der Leitung eines großen Teils der Vorfluterwassermenge über die Fischproduktions-

anlage Gewässerbelastungen entstehen, die zusätzliche Immissionsanforderungen der Wasserbehörden nach sich ziehen können.

Am Kraftwerk Schwarze Pumpe wurde 2006 eine Warmwasseranlage im offenen Kreislauf fertig gestellt, die vorrangig zur Satzkarpfenaufzucht im Winter vorgesehen ist (Abb. 4). Die Anlage besteht aus vier Rundbecken mit je 175 m³ Volumen und vier 12 m³-Becken, der Sauerstoffbegasung in den Beckenzuläufen sowie einem Siebtrommelfilter zur Reinigung des Ablaufwassers. Da eine O₂-Hochanreicherung in den Beckenzuläufen bis auf ca. 80 mg/l vorgesehen ist, wurde zur Verringerung der O₂-Konzentrationschwankungen und zur Gewährleistung der notwendigen Wasserwechselraten in den Becken eine automatisch geregelte Kreislaufwasserführung installiert. Das Produktionsziel liegt bei 78 t K₂ und 2 t Störe während des Winterhalbjahres.

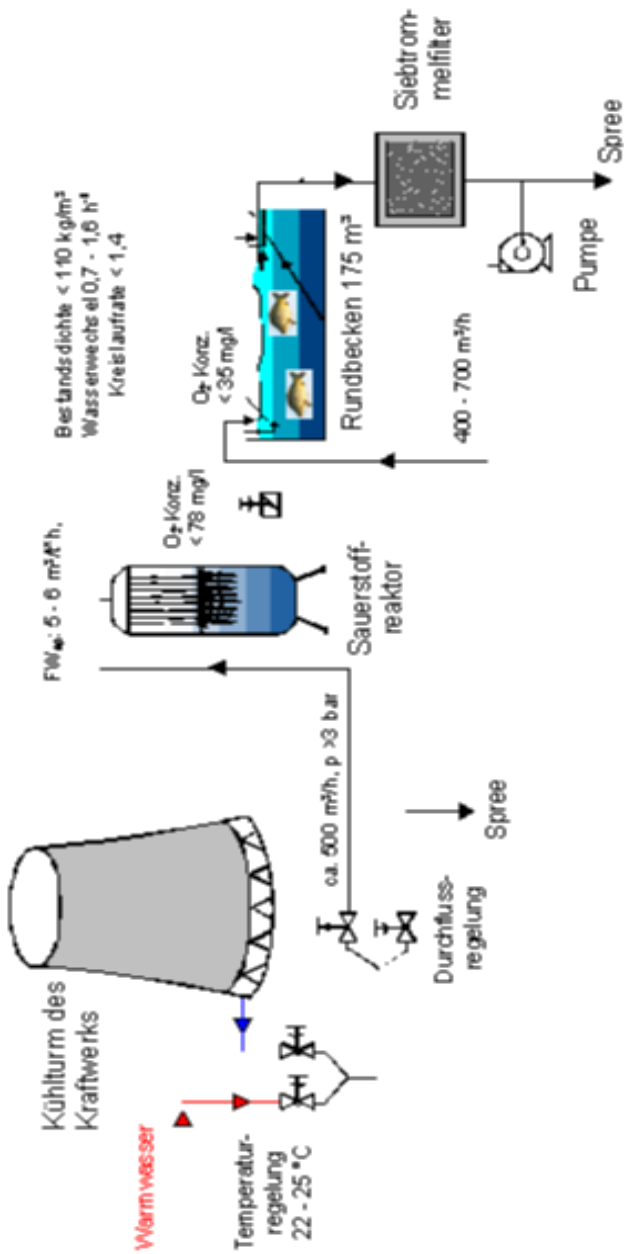


Abb. 4: Schema der Warmwasseranlage im offenen Kreislauf am Kraftwerk Schwarze Pumpe

Bei der Nutzung von Warmwasser aus Kraftwerken stellt das Ablaufwasser Abwasser im abwasserabgaberechtlichen Sinne dar. Nach der Reinigung des Ablaufwassers durch den Siebtrommelfilter mit 60 µm Bespannung kommt es wahrscheinlich nur noch zu einer Überschreitung des Schwellenwertes nach dem Abwasserabgabengesetz für Phosphor, für die Abwasserabgabe zu entrichten wäre.

3.6 Geschlossener Kreislauf

Eine weitere Reduzierung des spezifischen Frischwassereinsatzes ist nur noch durch die Wiedernutzung des Wassers nach mechanischer Reinigung und zusätzlicher biologischer Aufbereitung möglich. In der biologischen Reinigungsstufe wird die Nitrifikation, d. h. die Oxidation des durch die NH_3 -Abgabe der Fische im Wasser gelösten Ammoniums über die Zwischenstufe Nitrit zum weitgehend fischungiftigen Nitrat vorgenommen. Der Biofilter muss ein Substrat mit einer großen Oberfläche pro Volumeneinheit besitzen, um eine ausgedehnte Besiedelungsfläche für die nitrifizierenden Bakterien zu gewährleisten. Das Substrat muss ständig vom Wasser umspült oder benetzt werden. Als weitere Voraussetzung für die Funktionsweise der Nitrifikationsstufe ist vor dem Biofilter eine effektive mechanische Reinigung zu installieren. Zusätzlich spielt die hydraulische Belastung des Filters eine Rolle für die Nitrifikationsleistung. Die Verfahren des geschlossenen Kreislaufs sind im Vergleich zum einfachen Durchlauf und offenen Kreislauf technisch aufwendiger und kostenintensiver.

Es lassen sich beim geschlossenen Kreislauf drei Stufen der Intensität der Wassernutzung unterscheiden.

Die in Dänemark seit 2005 gebauten Forellenanlagen mit Biofilter und Wasserversorgung durch Grundwasser oder Dränagewasser arbeiten mit einem spezifischen Frischwassereinsatz von ca. 0,9 - 1,6 m³/t*h. Das entspricht einem ein- bis zweimaligen Wasseraustausch pro Tag bzw. 0,1 - 0,15 l/s pro Jahrestonne Fischproduktion. Das Ablaufwasser wird meist durch Pflanzenbeetkläranlagen gereinigt und infiltriert. Neben der gegebenenfalls erforderlichen Aufbereitung des Grundwassers sowie der meist als Pflanzenbeetkläranlage genutzten alten Teichanlage ist der zusätzliche anlagentechnische Aufwand auf den gefluteten Biofilter begrenzt. Gegenwärtig werden noch verschiedene Varianten der Anlagengestaltung und des Biofilters erprobt. Beim Biofilter handelt es sich um Festbett- oder Schwebbettfilter bzw. Kombinationen beider. Der Elektroenergieaufwand wird mit ca. 1,0 kWh/kg Abfischung angegeben. Die Produktionshöhe der jetzt arbeitenden Anlagen liegt im Bereich von 500 - 1.000 t/a. Zur Bewirtschaftung von 250 - 400 t ist eine Arbeitskraft erforderlich (Angaben Fa. ALLER AQUA u. DANAFEED 2007).

Anscheinend gelingt es trotz einiger erkennbarer Unzulänglichkeiten dieser Technologie in großen Anlagen eine ökonomische Forellen-

erzeugung zu gewährleisten. Insgesamt stellt diese Entwicklung einen wichtigen Meilenstein auf dem Weg zur emissionsfreien (-armen) Forellenproduktion dar. Die Nitrifikation funktioniert auch bei niedrigen Temperaturen anscheinend ausreichend.

In Deutschland befindet sich eine erste Anlage dieses Typs in der Bauphase.

Die Realisierungsmöglichkeiten in der Bundesrepublik sind von den länderspezifischen Regelungen und Gebühren für die Grundwasserentnahme sowie der Verfügbarkeit von Flächen für die Pflanzenbeetkläranlage abhängig. Während in Niedersachsen für die Entnahme von 1 m³ Grundwasser 0,00256 € zu zahlen sind, sind es in Brandenburg bereits 0,10 €/m³. Letzterer Wert würde mehr als 10 % der Gestehungskosten der Produktion in einer derartigen Anlage ausmachen. Dagegen unterliegt das Dränagewasser der ungesättigten Bodenzone nicht dem Wasserhaushaltsgesetz und kann bei entsprechender Qualität genutzt werden. Aufgrund des Kostenverhältnisses zwischen Sauerstoff und Elektroenergie erscheint es in Deutschland für derartige Anlagen sinnvoller, die Strömungserzeugung mit Propellerpumpen oder Mammutpumpen niedriger Einblastiefe und die Sauerstoffanreicherung mit schwimmenden Niederdruckbegasern vorzunehmen.

Der minimale spezifische Frischwassereinsatz der seit den 1980er Jahren gebauten geschlossenen Warmwasser-Kreislaufanlagen ist in erster Linie von der maximalen Nitratkonzentration des Kreislaufwassers abhängig (Abb. 5).

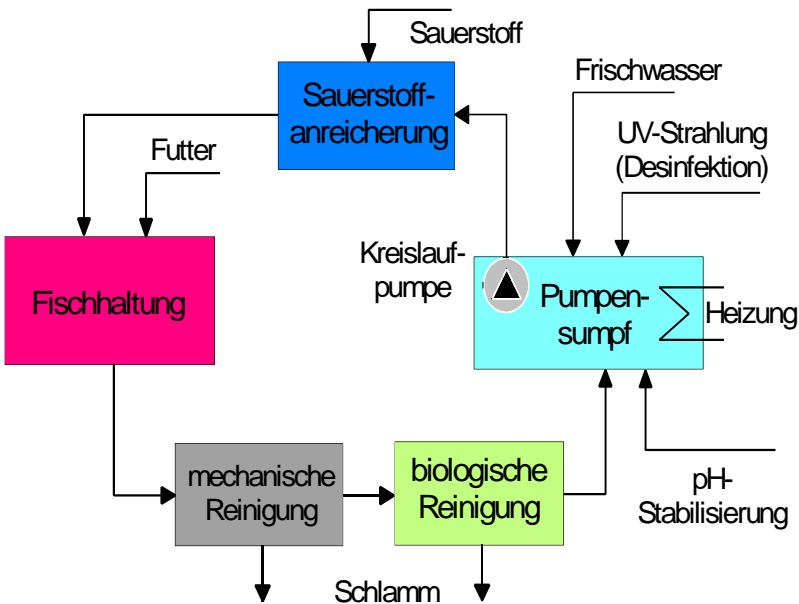


Abb. 5: Schema einer geschlossenen Warmwasser-Kreislaufanlage

Für eine Reihe von Fischarten hat sich die Unterschreitung eines NO_3 -Wertes von ca. 200 - 300 mg/l als erforderlich erweisen (RÜMLER u. PFEIFER 1998, SCHRECKENBACH 2002, ZIENERT u. HEIDRICH 2005, HEIDRICH u. WEDEKIND 2006). Unter dieser Voraussetzung liegt der theoretische spezifische Frischwassereinsatz bei ca. $0,3 \text{ m}^3/\text{t}\cdot\text{h}$. Das entspricht einer Wasserwechselrate von ungefähr 25 % des Anlagenvolumens pro Tag (Tafel 4).

Vereinfachend wird bei dieser Berechnung von derselben Ammoniumexkretionsrate wie unter 3.5 sowie einer raschen Entfernung des Kots aus dem Wasser durch die mechanische Reinigung ausgegangen. Bei KNÖSCHE und RÜMMLER (1998) wurde ein Wert des minimalen spezifischen Frischwassereinsatzes von $0,2 \text{ m}^3/\text{t}\cdot\text{h}$ angegeben. Zum Teil werden auch niedrigere Werte genannt (ZIENERT u. HEIDRICH 2005). Ursache dieser Differenzen können neben abweichenden NH_4 -Exkretionsraten durch andere Bewirtschaftungsparameter vor allem diffuse Denitrifikationsprozesse sein, die häufig auch ohne speziellen Anlagenteil ablaufen. In Anlagen mit herkömmlicher Belüftung ist deren Auftreten wahrscheinlicher als beim Einsatz der Sauerstoffbegasung. Auf dieser Stufe der Wassernutzungsintensität ist zur Stabilisierung des pH-Wertes die Zudosierung alkalischer Chemikalien notwendig.

$$FW_S = \frac{NH_4E(F)_S * 4,43}{c_{ANO_3}} = 0,27 \text{ m}^3 / \text{t} * \text{h}$$

$$WW_A = FW_S * 24 \text{ h} * BD * \frac{V_H}{V_G} * 100 \% = 24 \%$$

FW_S - spezifischer Frischwassereinsatz ($\text{m}^3/\text{t}\cdot\text{h}$)
 $NH_4E(F)_S$ - spezifischer NH_4 - Exkretion der Fische ($18 \text{ g}/\text{t}\cdot\text{h}$)
 c_{ANO_3} - NO_3 - Grenzwert ($300 \text{ mg}/\text{l}$)
 WW_A - Wasseraustausch der Anlage pro Tag (%)
 BD - Fischbestandsdichte in den Haltungseinrichtungen ($0,075 \text{ t}/\text{m}^3$)
 V_G - Gesamt-Wasservolumen der Anlage (m^3 , $V_G = 2 * V_H$)
 V_H - Wasservolumen der Haltungseinrichtungen (m^3)

Tafel 4: Berechnung des spezifischen Frischwassereinsatzes beim geschlossenen Warmwasser-Kreislauf mit Nitrat als begrenzendem Faktor (NO_3 -Zulaufkonzentration vernachlässigt)

Die geschlossenen Warmwasser-Kreislaufanlagen erfordern eine Bauhülle mit Wärmedämmung und verfügen in der Regel über weitere anlagentechnische Elemente, die unter 3.1 aufgeführt wurden (Abb. 5).

Der Vergleich der Aufwendungen für die Warmwasser-Fischproduktion in offenen und geschlossenen Kreislaufanlagen zeigt deutlich den Kostensprung, der sich durch den geschlossenen Kreislauf ergibt. Berechnungen für die K₂-Satzkarpfenproduktion in verschiedenen offenen Warmwassersystemen und einer geschlossenen Kreislaufanlage ergaben Gestehungskosten von ca. 2,4 - 2,6 €/kg Abfischung gegenüber 4,8 €/kg Abfischung (RÜMMLER u. a. 2006). Dabei dürften die Kosten für die Aufzucht anderer Fischarten mit Endbestandsdichten unter 100 kg/m³ in Anlagen mit Sauerstoffbegasung noch höher sein als beim Karpfen, der eine vergleichsweise hohe Toleranz gegenüber schwankenden Umweltbedingungen besitzt. Außerdem sind die Satzfish- und Futterkosten bei der K₂-Aufzucht vergleichsweise niedrig.

Daneben müssen auch die höheren Qualifikationsanforderungen und Aufwendungen für den Betrieb des Biofilters bzw. der Nitrifikation sowie der weiteren Anlagenkomponenten berücksichtigt werden. Beim Biofilter handelt es sich um den anfälligsten Teilprozess dieser Technologie, da die genutzten biologischen Prozesse nicht direkt

technisch beeinflusst werden können und vergleichsweise langsam ablaufen.

Bei geschlossenen Kreislaufanlagen sind der Wasserdurchfluss durch die Einrichtungen zur Fischhaltung, der Wasserdurchfluss für die Sauerstoffanreicherung und der erforderliche Wasserdurchfluss durch den Biofilter bzw. der prozentuale Ammoniumabbau bei einmaligem Wasserdurchlauf durch den Filter (Filtereffizienz in %) aufeinander abzustimmen. Häufig führt das, verbunden mit der Bauweise des Biofilters, zur Installation einer zusätzlichen Pumpe für diesen Teilprozess mit entsprechend höheren Energiekosten. Ein Biofiltertyp, dessen Filtereffektivität und hydraulische Belastung in gewissem Umfang unabhängig vom Wasserdurchsatz beeinflusst werden kann, ist der Tauchtropfkörper oder „Biodrum“. Durch diesen Biofiltertyp werden energiearme „Ein-Pumpen-Systeme“ möglich. Allerdings werden Tauchtropfkörper für geschlossene Kreislaufanlagen in Deutschland aus Kostengründen nicht eingesetzt.

Eine noch weitere Reduzierung des spezifischen Fischwassereinsatzes unter $0,3 - 0,2 \text{ m}^3/\text{t} \cdot \text{h}$ lässt sich nur durch den Nitratabbau mit Hilfe einer Denitrifikationsstufe erreichen. Gleichzeitig kommt es zur weiteren Anreicherung schwer abbaubarer organischer und anorganischer Substanzen. Diese Stufe kompliziert die Wasseraufbereitung weiter und ist für den Praxiseinsatz gegenwärtig noch problematisch.

In den „Hinweisen ...“ (LAWA 2003) wurde ein Wert des täglichen Wasserwechsels geschlossener Kreislaufanlagen von weniger als 20 % des Anlagenvolumens unter möglichem Einschluss einer Denitrifikationsstufe angegeben.

Das in geschlossenen Kreislaufanlagen anfallende Ablaufwasser kann nach entsprechender Aufbereitung und unter Einhaltung der abwasserabgaberechtlichen Regelungen sowie der Emissions- und Immissionsfestlegungen in die Vorflut abgegeben werden. Gegebenenfalls ist eine zweistufige Behandlung über Absetzbecken und Nachklärbecken erforderlich. Der andere Weg besteht für kleinere Anlagen darin, direkt in die öffentliche Kanalisation unter Zahlung von Abwasserentgelt einzuleiten. Das Reinigungswasser sollte wie bei allen anderen Anlagentypen getrennt aufbereitet und entsorgt werden (LAWA 2003).

Eine besondere Form des geschlossenen Kreislaufs stellt das Teich-in-Teich-System dar (RÜMMLER u. a. 2007). In Teich-in-Teich-Anlagen werden die Vorteile einer Beckenanlage mit den funktionalen Möglichkeiten des Teiches kombiniert. Die eigentliche Anlage zur Fischproduktion mit den Teilprozessen Fischhaltung, Fütterung, Frischwasserzufuhr und Sauerstoffanreicherung wird im Teich errichtet und stellt verfahrenstechnisch gesehen eine offene Kreislaufanlage dar (Abb. 6). Der Abbau der Stoffwechselprodukte der Fische sowie die Wasserhaltung und die Wassertemperierung

erfolgen durch den Teich. Verfahrenstechnisch gesehen entsteht dadurch ein geschlossener Kreislauf mit geringen Emissionen, aber ohne Temperatursteuerung (Abb. 7).

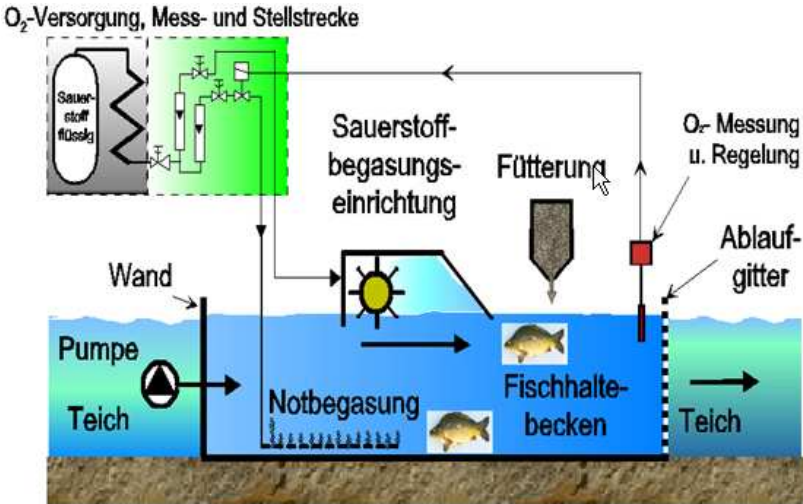


Abb. 6: Schema der Beckenanlage des intensiven Teich-in-Teich-Systems mit Zwangsdurchströmung und Sauerstoffbegasung

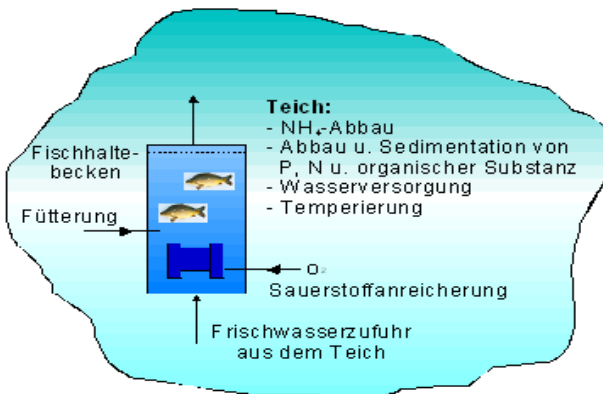


Abb. 7: Verfahrensprinzip einer intensiven Teich-in-Teich-Anlage

4. Schlussfolgerungen

Die Entwicklungen auf dem Gebiet der Verfahrens- und Anlagentechnik der Fischproduktion haben dazu geführt, dass heute eine Reihe von Verfahren mit unterschiedlichen Werten des spezifischen Frischwassereinsatzes bis hin zu sehr Wasser sparenden Technologien zur Verfügung stehen. Die Spanne von ca. 104 m³/t*h bis zu 0,2 m³/t*h verdeutlicht das (Tab. 3).

Tab. 3: Zusammenfassung der verschiedenen Intensitätsstufen der Wassernutzung in der Fischproduktion

Bezeichnung	FW _s ¹ (m ³ /t*h, l/s), WW ² (d ⁻¹)	Anlagenteile (Teilprozesse) ³	primär begrenzender Faktor	Betriebs- u. Investitionskosten relativ
einfacher Durchlauf, Kaltwasser	104 - 78 (28,9 - 21,7) ⁴	Fischhaltung	Sauerstoff	X
offener Kreislauf, Kaltwasser	20 - 5 (5,6 - 1,4)	Fischhaltung, O ₂ -Anreicherung, ggf. mech. Reinigung des Ablaufwassers	Ammoniak	XX
offener Kreislauf, Warmwasser	10 - 5 (2,8 - 1,4)	Wassertemperierung, Fischhaltung, O ₂ -Anreicherung, mech. Reinigung des Ablaufwassers	Ammoniak	XXx
teilgeschlossener Kreislauf, Kaltwasser	1,6 - 0,9 (0,44 - 0,25), 1,0 - 2,0 WW/d	Fischhaltung, O ₂ -Anreicherung, mech. Filter, Biofilter, Ablaufwasserreinigung u. -infiltration, ggf. Grundwasseraufbereitung	Nitratgrenze wird nicht erreicht	XXX
geschlossener Kreislauf, Warmwasser	1,0 - 0,2 (0,28 - 0,06), 0,25 - 0,20 WW/d	Fischhaltung, O ₂ -Anreicherung, mech. Filter, Biofilter, Heizungssystem, pH-Stabilisierung, Wasserdesinfektion, Ablaufwasseraufbereitung, ggf. Grundwasseraufbereitung	Nitrat (Nitrit)	XXXXXX
geschlossener Kreislauf, Warmwasser mit Denitrifikation	< 0,2 - 0,1 (0,06 - 0,03), < 0,20 WW/d	wie zuvor mit zusätzlicher Denitrifikationsstufe	Akkumulation verschiedener Stoffe	XXXXX XXXX

¹ - FW_s - spezifischer Frischwassereinsatz in m³/t*h oder l/t*s

² - WW - Wasserwechsel des Anlagenvolumens pro Tag

³ - Anlagenteile zur Fütterung sind überall erforderlich und wurden deshalb nicht aufgeführt

⁴ - spezifischer Frischwassereinsatz in l/t*s

Aus den vorangegangenen Darstellungen wird aber auch deutlich, dass mit zunehmender Intensität der Wassernutzung, d. h. zunehmend sparsamen Einsatz der Ressource Wasser, die anlagentechnischen Aufwendungen zur Wasserkonditionierung sowie die Anforderungen an die Wasser- und Schlamm Entsorgung und damit die Investitionskosten steigen. Weiterhin ist mit sinkendem Frischwassereinsatz ein steigender Aufwand an Elektroenergie und Sauerstoff sowie gegebenenfalls Wärme verbunden. Zusätzlich wird der Arbeitszeitaufwand für die Anlagenbewirtschaftung größer. Diesen erhöhten Aufwendungen kann nur durch die Steigerung der Produktion bei gleichbleibendem Wassereinsatz und Haltungsvolumen sowie Verbesserungen von Zuwachs, Überlebensrate und Futtermittelverwertung durch optimierte Haltungsbedingungen entgegen gewirkt werden.

Hinzu kommt, dass für die Wassernutzung aus den Oberflächen gewässern im einfachen Durchlauf und offenen Kreislauf keine Abgaben zu entrichten sind.

Andererseits scheitert die Ausdehnung der Fischproduktion auf der Basis des einfachen Durchlaufs und in der Regel auch des offenen Kreislaufs an den vorhandenen Wassermengen und den behördlichen Auflagen. Zusätzlich sind im Zusammenhang mit der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie auch Einschnitte in

bestehende wasserrechtliche Erlaubnisse rechtlich möglich und praktisch nicht auszuschließen.

Vor diesem Hintergrund werden langfristig nur Verfahren der Fischproduktion eine Chance haben, die eine hohe Wassernutzungsintensität besitzen, d. h. mit einem geringen spezifischen Frischwassereinsatz arbeiten. Inwieweit es gelingt, die Energie-, Investitions- und Arbeitskosten dieser Verfahren soweit zu minimieren, dass die Konkurrenzfähigkeit der produzierten Fische auf dem globalisierten Markt gesichert ist, bleibt abzuwarten. In Deutschland sind die Voraussetzungen dazu durch die Kostenstrukturen, die Organisation der Fischerei und die behördlichen Auflagen als wenig günstig einzustufen. Für viele kleinere Produzenten bietet daher nur die Einnischung in das Segment der Direktvermarktung mit begrenzter Produktionshöhe eine Überlebensebene.

Unter diesen Bedingungen kann die Verfahrenstechnik durch die Neu- und Weiterentwicklung von Technologien mit geringem Frischwassereinsatz bei gleichzeitig sparsamen Einsatz von Elektroenergie, Anlagentechnik und Arbeitszeit sowie der Schaffung optimaler Wachstumsbedingungen für die Fische einen wichtigen Beitrag leisten. Auf dem Sektor der Warmwasseranlagen kommt die Erarbeitung rationeller Technologien für die Aufzucht möglichst hochpreisiger Fischarten hinzu. Eine zeitnahe drastische Kosten-

senkung durch verfahrenstechnische Lösungen ist aber nicht zu erwarten. Hier spielen die generellen Kostenstrukturen und die dazu im Vergleich geringen Erlöse für das Endprodukt Fisch eine entscheidende Rolle.

Während auf dem Futtermittelsektor, auch vor dem Hintergrund sehr viel umfangreicherer Geschäftsfelder, wie z. B. der Lachsproduktion, eine sehr zielgerichtete anwendungsbezogene Weiterentwicklung erfolgt, ist das auf dem Gebiet der Anlagen- und Verfahrenstechnologie sowie der Gerätetechnik für die Binnenfischerei anscheinend nicht der Fall. Hintergrund ist der begrenzte Umfang dieses Geschäftsfeldes, der die Entwicklungs- und Untersuchungstätigkeit der Anlagen- und Gerätehersteller zwangsläufig in Grenzen hält. Ausdruck dieses Zustandes ist auch das Fehlen unabhängiger Beratungs- und Projektierungsbüros auf diesem Sektor in Deutschland. Die aus der öffentlichen Hand finanzierte oder geförderte Forschungs-, Entwicklungs- und Untersuchungstätigkeit widmet sich den verfahrenstechnischen Problemen der Fischproduktion nur in geringem Umfang oder bruchstückhaft. Ursache ist u. a. die Nähe dieser Aufgaben zu den kommerziellen Tätigkeiten der Fischproduzenten sowie der Anlagen- und Gerätehersteller. Als Ausnahme kann hier die Entwicklung des Teich-in-Teich-Verfahrens (RÜMMLER u. a. 2007) gewertet werden.

Dagegen hat die Praxiseinführung der teilgeschlossenen Kreislaufanlagen in Dänemark vor dem Hintergrund der hier sehr frühzeitig begonnenen Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie die bestehenden Möglichkeiten einer zielgerichteten Weiterentwicklungen der binnenfischereilichen Verfahrenstechnik zumindest in anderen Ländern verdeutlicht.

Literatur

ALBRECHT, E. (1978): Sichere und wirtschaftliche Fischproduktion durch Einsatz von Sauerstoff. Allg. Fischwirtsch.-Ztg., Hamburg, H.4, 41 - 42

BERGER (1978): Einsatz von reinem Sauerstoff in der Fischzucht. Allg. Fischwirtsch.-Ztg., Hamburg, H. 4, 38 - 39

BRÄMICK, U. (2007): Jahresbericht zur deutschen Binnenfischerei 2006. Institut für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow, 44 S.

CLARK, M. L. (2003): Comparison of water quality, rainbow trout production and economics in oxygenated and aerated raceways. Master Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, 65 S.

COLT, J. u. WATTEN, B. (1988): Applications of Pure Qxygen in Fish Culture. Aquaculture Eng. 7, 397 - 441

COLT, J., ORWITZ, K., u. BOUCK, G. (1991): Water quality considerations and criteria for high-density fish culture with supplemental oxygen. In: Colt, J., White, R.J. (Eds.): Fisheries Bioengineering Symposium 10. American Fisheries Society, Bethesda, MD, 372 - 385

HEIDRICH, S. u. WEDEKIND, H. (2006): Optimierung biologischer und technologischer Parameter für die Aufzucht von Stören in geschlossenen Kreislaufanlagen. In: Berichte aus der Fischerei. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Heft 13/2006, 56 - 109

KAUSNIK, S. J. (1981): Influence of a rise in temperature on the nitrogen excretion of rainbow trout. Proc. World Symp. on Aquaculture in Heated Effluents and Recirculation Systems, Stavanger 28 - 30 May, 1980, Vol. I, Berlin, 78 - 89

- KNÖSCHE, R. u. RÜMMLER, F. (1998):** Intensive Aquakultur. Vorlesungsskript Humboldt-Universität Berlin, 313 - 444
- KUTTY, M. N. (1968):** Respiratory quotients in goldfish and rainbow trout. J. Fish. Res. Bd. Can. 25, S. 1689 - 1728
- LAWA (2003):** Hinweisen zur Verringerung der Belastung der Gewässer durch die Fischhaltung, Arbeitskreises 61 der LAWA, 80 S.
- PETIT, J. (1990):** Water supply, treatment and recycling in aquaculture. In: BARNABE, G. (Ed.): Aquaculture Vol. 1, Ellis Horwood Limited, 69 - 71
- PFEIFER, M. (1987):** Möglichkeiten der Verlustsenkung bei der K₂-Produktion durch Optimierung der Umweltbedingungen am Beispiel der Rundbeckenanlage mit Sauerstoffbegasung in der WWA Hirschfelde. Abschlussarbeit zum postgradualen Studium Fachingenieur für Fischgesundheitsdienst, Humboldt-Universität Berlin, 35 S.
- RÜMMLER, F. u. PFEIFER, M. (1987):** Erste Versuche zur K₂-Produktion in einer Anlage mit Sauerstoffbegasung und Rundbecken. Zeitschrift für die Binnenfischerei der DDR 34, 179 - 185
- RÜMMLER, F. u. PFEIFER, M. (1991):** Entwicklung eines Verfahrens zur Satzfischproduktion in Warmwasseranlagen mit Rundbecken und Sauerstoffbegasung. Fischer & Teichwirt 42, 266
- RÜMMLER, F. u. PFEIFER, M. (1998):** Aufzuchtversuche von Stören in verschiedenen Anlagentypen. Fischer & Teichwirt 49, 231 - 234
- RÜMMLER, F. (2003):** Verfahrensgestaltung der Warmwasserfischproduktion im offenen Kreislauf. Fischer & Teichwirt 54, 208 - 211

- RÜMMLER, F.** (2005): Studie zur Praxiseinführung der Sauerstoffbegasung und der Ozonbehandlung sowie zur Bewertung der Emissions- und Immissionsproblematik der Forellenproduktion im Land Brandenburg. In: RÜMMLER, F.: Jahresbericht des Instituts für Binnenfischerei Potsdam-Sacrow e.V. 2005, 51 - 53
- RÜMMLER, F., HEIDRICH, S. u. PFEIFER, M.** (2006): Kombinierte Satzkarpfen - Edelfischaufzucht in geschlossenen Kreislaufanlagen. In: Berichte aus der Fischerei. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Heft 13/2006, 1 - 56
- RÜMMLER, F.; BÜRGER, E.; KUNKEL, D. u. DONATH, W.** (2007): Stand der Entwicklung eines intensiven Teich-in-Teich-Systems. Fischer & Teichwirt 58, 369 - 372
- RÜMMLER, F.** (2008): Schwimmende Niedrigdruckbegaser zur Sauerstoffbegasung. Fischer & Teichwirt 59, 129 - 131
- RÜMMLER, F., RANK, H. u. FREYDANK, R.** (2008): Anwendung der Sauerstoffbegasung in der Fischproduktion. Fischer & Teichwirt 59, 12 - 15
- SCHÄPERCLAUS, W. u. v. LUKOWICZ, M.** (1998): Lehrbuch der Teichwirtschaft, 590 S.
- SCHOORL, R.C.** (1999): Produktion von afrikanischen Welsen in Kreislaufanlagen. in: BOHL, E. 1999 (Hrsg.): Zucht und Produktion von Süßwasserfischen. 2. Auflage, Verlags Union Agrar 1999, 492 - 500
- SCHRECKENBACH, K., STEFFENS, W. u. ZOBEL, H.** (1987): Technologien, Normen und Richtwerte der Fischproduktion. Institut für Binnenfischerei Berlin-Friedrichshagen, 180 S.
- SCHRECKENBACH, K.** (1993): Fischschäden unter dem Einfluss von Gasspannungen, pH-Wert und Stickstoffverbindungen -

Bewertung kritischer Bereiche, Grenzwertproblematik. 7. SVK-Fischseminar 26. - 27.1., Bonn-Bad Godesberg, 34 S.

SCHRECKENBACH, K. (2002): Einfluss von Umwelt und Ernährung bei der Aufzucht und beim Besatz von Fischen. In: KEIZ, G.: Fischerei & Naturschutz.: Nachhaltige Fischereiausübung, VDSF-Schriftenreihe H. 4, 55 - 73

SPECCE, R. E. (1973): Trout metabolism characteristics and the rational design of nitrification facilities for water reuse in hatcheries. Trans. Amer. Fish. Soc. 102, 323 - 334

TIMMONS, M. B. u. YOUNGS, W. D. (1991): Considerations on the design of raceways. Proceedings of the World Aquaculture Society and the American Society of Agricultural Engineers, San Juan, 34 - 46

WESTERS, H. (1991): Modes of operation and design relative to carrying capacities of flow-through systems. Proceedings: Engineering Aspects of Intensive Aquaculture, 4. - 6. 4., Cornell University, Ithaca, N.Y.A, 151 - 159

WESTERS, H. u. PRATT, K. M. (1977): Rational design of hatcheries for intensive salmonid culture, based on metabolic characteristics. Progressive Fish Culturist 39, 157 - 165

ZIENERT, S. u. HEIDRICH S. (2005): Aufzucht von Zandern in der Aquakultur. Schriften des Instituts für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow Bd. 18, 63 S.

Arbeitswirtschaft und Ressourcenverwertung als Grundlagen der Ökonomie in der Forellenproduktion

Reinhard Reiter

Zusammenfassung

Eine hohe Verwertung der wichtigsten Ressourcen ist Grundlage für eine wirtschaftliche Forellenproduktion. Neben der eingesetzten Arbeit sind hier in erster Linie Zulaufwasser, Futtermittel, Sauerstoff und Energie zu nennen. Mit der Änderung der verfügbaren Menge und damit dem Preis von Ressourcen verschieben sich Verhältnismäßigkeiten und werden Entwicklungen in der Fischproduktion beeinflusst.

Der zunehmende Einsatz von Technik führt im Regelfall zu höherer Arbeitsproduktivität und besserer Ausnutzung des Zulaufwassers, ist aber mit einem höheren Energieverbrauch verbunden. Die Verwendung von Reinsauerstoff hat in der Regel einen positiven Effekt auf die Futtermittelverwertung und ermöglicht eine Steigerung der Produktionsintensität.

Anhand von Beispielen werden verschiedene Betriebssituationen beleuchtet und ökonomisch bewertet. In Abhängigkeit von Betriebsgröße und Produktionsrichtung ergeben sich hierbei unterschiedliche Gewichtungen. Die betrieblichen Entscheidungen nehmen schließlich Einfluss auf Betriebseinkommen und -gewinn.

Einführung

Um die Ressourcen schonende Produktion am Beispiel der Forellenerzeugung bewerten zu können, muss man wissen, welche Ressourcen in welcher Höhe verbraucht werden. Die wichtigsten Ressourcen im Forellbetrieb sind neben der Arbeit (Familien- und Fremd-Arbeitskräfte) Materialien, wie Futtermittel, Sauerstoff und Energie sowie Nutzungsrechte für z. B. Zulaufwasser.

Aufgrund der Schwierigkeit, an gesicherte wirtschaftliche Daten aus Forellproduktionsbetrieben zu kommen, wurden Kalkulationen anhand von zwei Beispielbetrieben durchgeführt (REITER 2008). Ein erster Betrieb mit einer Jahresproduktion von 43 t, bei einem Frischwasserzulauf von 116 Sekundenlitern (l/s) führt die Eierbrütung von Regenbogenforellen (vom Ei bis 1 g Lebendgewicht, 200.000 Eier), die Brutaufzucht (1 g – 5 g Lebendgewicht, 160.000 Brütlinge) und die Produktion von Speiseforellen (5 g – 350 g Lebendgewicht, 100.000 Setzlinge) und Lachsforellen (350 g – 1.500 g Lebendgewicht, 10.000 Stück) in Teichen durch. In einem zweiten Betrieb werden in einer Fließkanalanlage mit 100 l/s Zulaufwasser 101 t Speiseforellen (10 g – 380 g Lebendgewicht, 300.000 Setzlinge) produziert. In beiden Fällen werden die Fische ohne Verarbeitung oder Veredelung lebend an Wiederverkäufer bzw. an den Großhandel abgegeben. Es wurden Kalkulationen von Deckungsbeiträgen durchgeführt und jeweils zu einem Gesamt-Deckungsbeitrag zusammengefasst. Nach Abzug der Festkosten

konnten Betriebseinkommen, Roheinkommen und Gewinn sowie die Gewinnrate berechnet werden.

Wasserbedarf

In den Beispielbetrieben stehen 116 bzw. 100 l/s Zulaufwasser zur Verfügung. Im Erdteichbetrieb werden für die Eierbrütung über einen Zeitraum von 4 Monaten 3 l/s benötigt. Für die weiteren Produktionsverfahren Brutaufzucht werden 2 Monate lang 10 l/s, für die Produktion von Portionsforellen ganzjährig 80 l/s und für die Produktion von Lachsforellen über 8 Monate 50 l/s Zulaufwasser beansprucht (Tab. 1). Dies entspricht einem übers gesamte Jahr gerechneten Bedarf von 116 l/s. Zusätzlich zum Sauerstoff im Zulaufwasser wird ein darüber hinaus gehender Sauerstoffbedarf mit dem Eintrag von Luftsauerstoff sichergestellt. In der Fließkanalanlage werden in 100 l/s Zulaufwasser ausschließlich Speiseforellen erzeugt. Der höhere Sauerstoffbedarf wird mit dem Eintrag von Reinsauerstoff abgedeckt.

Arbeitszeitbedarf

Der Arbeitsbedarf kann nach Abb. 1 in verschiedene Arbeitselemente gegliedert werden. Die produktionsbezogenen Arbeiten teilen sich nach einer Untersuchung am Institut für Fischerei (WEDEKIND & JÄHRLING 2006) in 49 % Routinearbeiten (Fische füttern, Gitter und Siebe reinigen), 8 % Kontrollarbeiten (Sichtkontrolle, Sauerstoffkontrolle und Probewiegungen) sowie 43 %

Sonderarbeiten (Besatz, Sortierung, Abfischen, Teichreinigung und Desinfektion) auf. Daneben fallen noch sonstige betriebliche Arbeiten zum Betriebsmanagement und für Hofarbeiten oder Ausbildung bzw. überbetriebliche Maßnahmen an.

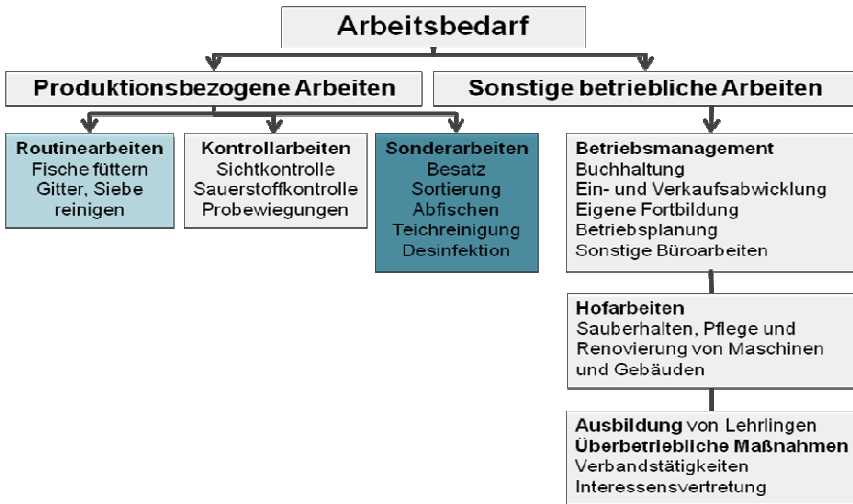


Abb. 1: Arbeitselemente im Forellenbetrieb

In den Beispielbetrieben sind 2.400 bzw. 2.200 Arbeitskraftstunden (AKh) pro Jahr notwendig (Tab. 1). Dies entspricht bei einer Jahresleistung von 2.200 Stunden einem Bedarf von 1,1 bzw. 1,0 Arbeitskräften (AK). Im ersten Betrieb verteilen sich die benötigten Arbeitskraftstunden auf die vier Produktionsverfahren mit einem Bedarf von 100 AKh (4 % der Gesamt-AKh) für die Erbrütung, 150 AKh (6 %) für die Brutaufzucht und 1.600 AKh (67 %) bzw. 550 AKh (23 %) für

die Produktion von Portions- bzw. Lachsforellen. In der Fließkanalanlage werden ausschließlich Speiseforellen erzeugt.

Futterbedarf

Mit zunehmender Fischgröße steigt der Futterbedarf pro kg Zuwachs, was sich in einem wachsenden Futterquotienten (FQ) ausdrückt. Dies hängt mit grundsätzlichen physiologischen Belangen und weniger mit der Produktionsweise zusammen. Natürlich ist ein ausreichender Sauerstoffgehalt im Haltungswasser Voraussetzung für eine ordentliche Futterverwertung. Während bei der Anfütterung und Aufzucht von Brütlingen mit einem FQ von 0,7 – 0,8 kalkuliert wird, werden bei der Produktion von Speiseforellen 1,0 kg und von Lachsforellen 1,2 kg Futter pro kg Zuwachs benötigt. Da der Preis von Brutfuttermitteln erheblich über den Mastfuttermitteln liegt, errechnen sich für Brütlinge Futterkosten von 2,10 € und für Portionsforellen von 1,10 €/kg Zuwachs. Insgesamt ergeben sich in der Erdteichanlage mit vier Produktionsverfahren Zuwachskosten in Höhe von 1,23 € und in der Fließkanalanlage von 1,10 €/kg Zuwachs (Tab. 1).

Energiebedarf

Im Bruthaus fallen in der Regel mit dem Einsatz von Beleuchtung und energiebetriebenen Geräten, wie Pumpen, und bei relativ geringer Produktionsmenge deutlich höhere Energiekosten pro kg Zuwachs an, im Vergleich zur Außenanlage. Der Energiebedarf liegt

hier mit 10 kWh/kg Zuwachs etwa 10-mal so hoch, wie bei der Produktion in Teichen mit einem Bedarf von etwa 1 kWh/kg Zuwachs. Die Kosten schwanken demnach zwischen 1,52 und 0,16 €/kg Zuwachs. Der Energiebedarf pro kg Zuwachs liegt nach den Kalkulationen in der Erdteichanlage insgesamt bei 1,37 kWh/kg Zuwachs. Trotz höherer Produktionsintensität ist der relative Energiebedarf in der Fließkanalanlage mit 0,89 kWh/kg Zuwachs erheblich geringer. Die Kosten sind deshalb mit 0,13 gegenüber 0,20 €/kg Zuwachs in der Erdteichanlage deutlich niedriger (Tab. 1).

Reinsauerstoffbedarf

Während in der Erdteichanlage in diesem Beispiel der Sauerstoffbedarf mit dem Eintrag von Luftsauerstoff gewährleistet wird, ist in der Fließkanalanlage der Zukauf von Reinsauerstoff notwendig. Je nach Produktionsweise und Effektivität kann mit einem Sauerstoffbedarf zwischen 0,4 und 1,0 kg Sauerstoff pro kg Zuwachs gerechnet werden. Im angenommenen Beispielbetrieb werden pro kg Zuwachs 0,73 kg Sauerstoff benötigt, was mit Kosten von 0,11 €/kg Zuwachs zu veranschlagen ist (Tab. 1). Die Gesamtkosten für Energie und Sauerstoff betragen in der Fließkanalanlage demnach 0,24 €/kg Zuwachs.

Verwertung des Zulaufwassers

Die Ausnutzung des Zulaufwassers ist abhängig von der Produktionsintensität. Je mehr Fische pro Sekundenliter (l/s) Zulauf und

Jahr (a) erzeugt werden, desto intensiver ist die Produktionsweise. In den Bayerischen Teichbauempfehlungen z. B. erfolgt eine Einteilung in drei Intensitätsstufen: Intensitätsstufe I ($< 150 \text{ kg Futtereinsatz (bzw. Zuwachs bei } FQ = 1,0) \text{ pro l/s und a)}$, Intensitätsstufe II ($150 - 500 \text{ kg/l*s*a}$) und Intensitätsstufe III ($> 500 \text{ kg/l*s*a}$). Der Erdteichbetrieb würde nach dieser Einstufung mit 369 kg/l*s*a in Intensitätsstufe II und die Fließkanalanlage mit 985 kg/l*s*a in Intensitätsstufe III fallen (Tab. 1). Die Ausnutzung des Zulaufwassers ist in der zweiten Betriebsform nahezu 3-mal so hoch.

Verwertung der eingesetzten Arbeitszeit

Die Jahresproduktivität beträgt im Erdteichbetrieb knapp 40 t und in der Fließkanalanlage knapp 100 t pro Arbeitskraft (AK). Vor allem die Erbrütung und Brutaufzucht ist pro erzeugte Fischmasse sehr arbeitsintensiv, sodass pro Jahr nur 3 – 8 t/AK produziert werden können (Tab. 1). Der Jahresumsatz liegt im ersten Beispielbetrieb bei 140.000 €/AK und im zweiten Betrieb bei 330.000 €/AK. Der Gewinn beträgt im ersten Fall 31.300 € und in der Fließkanalanlage 44.100 €, die Gewinnrate 21 % bzw. 13 %. Die Entlohnung pro Arbeitskraftstunde (AKh) liegt bei 13,- €/AKh bzw. 20,- €/AKh.

Diskussion

Alle hier genannten Ergebnisse beruhen zwar auf konkreten Annahmen, sind aber häufig Schätzungen und können bei der Wahl anderer Zahlen deutlich abweichen. Die Erkenntnisse können keinesfalls als Empfehlung weg von Erdteichanlagen und hin zu Fließkanalanlagen gesehen werden. Je nach Wahl der Beispielzahlen können die Resultate für beide Produktionssysteme sehr unterschiedlich ausfallen bzw. enger beieinander liegen. Mehrere Standbeine bzw. Produktionsverfahren (Eierbrütung bis Lachsforellenproduktion) sind im Vergleich zur Spezialisierung häufig energie- und arbeitsaufwändiger, allerdings langfristig in der Regel stabiler und weniger anfällig gegenüber Unvorhergesehenes. Dies macht sich nicht zuletzt in einer höheren Gewinnrate bemerkbar. Zudem spielt in diesen häufig als Familienbetrieb bewirtschafteten Anlagen die Verarbeitung, Veredelung und Direktvermarktung vielfach eine übergeordnete Rolle, was eine weitere Gewinnausschöpfung ermöglicht. Dennoch ist bezüglich Wasserausnutzung und Arbeitsproduktivität gerade zur Speiseforellenproduktion die Fließkanalanlage der Erdteichanlage in der Regel überlegen.

Zu weiteren Diskussionen führen zwei konträre Entwicklungen in der Forellenproduktion, die gerade in den letzten Jahren an Bedeutung zugenommen haben: die Bioforellenproduktion und die Teilkreislauftechnik. Die Bioforellenproduktion ist in der Regel gekennzeichnet von geringeren Bestandsdichten ohne künstlichen Sauer-

stoffeintrag und niedrigem Energieverbrauch. Die Verwertung der Ressourcen Zulaufwasser und Arbeitskraft ist gegenüber der konventionellen Produktion geringer. Die Teilkreislauftechnik, bei der Zulaufwasser gereinigt, aufbereitet und mehrmals verwendet wird, hat vor allem einen sehr hohen Ausnutzungsgrad des Zulaufwassers, bis zu 10 t Fische werden pro l/s und Jahr produziert, zum Teil sogar mehr. Der Energiebedarf ist in der Regel erheblich höher und liegt bei bestehenden Anlagen, z. B. in Dänemark, bei einer Jahresproduktion von 600 t bei 120 – 150 kW, etwa 2 kWh/kg Zuwachs. Der Arbeitszeitbedarf ist in diesen hoch technisierten Anlagen sehr gering. Pro AK rechnet man mit einer Jahresproduktion von 250 – 400 t.

Weitere Entwicklungen in der Fischproduktion werden zunehmend von verfügbaren Mengen und Preisen für Ressourcen beeinflusst. Zulaufwasser ist häufig ein limitierender Faktor in der Forellenproduktion. Eine hohe Ausnutzung ist erstrebenswert. Steigende Energiepreise machen den Einsatz von Technik teurer, der aber im Regelfall zu höherer Arbeitsproduktivität führt. Die Wirtschaftlichkeit eines Austausches von Arbeit durch Technik ist dementsprechend abhängig von einerseits Lohn- und andererseits Energiepreisen. Die zukünftige Preisentwicklung wird zeigen in welche Richtung die Forellenproduktion tendiert.

Literatur:

REITER, R. (2008): Lehrmaterial für die Fortbildung zum Fischwirtschaftsmeister am Institut für Fischerei, Fortbildungsblöcke Betriebswirtschaft/Rechnungswesen und Forellenteichwirtschaft/Fischereitechnik. Starnberg.

WEDEKIND, H, JÄHRLING, R. (2006): Ermittlung des Arbeitszeitbedarfes in der süddeutschen Forellenteichwirtschaft. Abschlussbericht im Auftrag des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL) (interner Bericht). Starnberg, 41 S.

Gelungene Beiträge des EU-Rechts?

Thijlbert Strubelt

Zusammenfassung

Die EU greift zunehmend mit Rechtsakten direkt und indirekt in die Fischproduktion im Binnenland ein, um "eine nachhaltige Entwicklung des Sektors zu gewährleisten". An Beispielen wird aufgezeigt, dass diese Regelwerke einer Ressourcen schonenden Fischerzeugung zum Teil entgegenwirken. Die Gründe dafür liegen vorrangig in einer mangelhaften Anpassung der Vorschriften an die besonderen Bedingungen der binnenländischen Aquakultur. Diese Mängel tragen auch zu dem rapiden Verfall der Akzeptanz der EU-Regelungen bei den Betroffenen bei.

Beispiele für EU-Recht in der Fischerei

Die Binnenfischerei und die Aquakultur wurden bis vor kurzem nahezu ausschließlich durch Landes- und Bundesrecht geregelt. Lediglich im Veterinärrecht und zur Strukturförderung hat die Gemeinschaft schon vor einigen Jahren direkt den Sektor betreffendes Recht gesetzt. Inzwischen hat die EU jedoch einige problematische Entwicklungen in der marinen Aquakultur und der marinen Fischerei zum Anlass genommen, die zur Regelung dieser Bereiche erlassenen Vorschriften nunmehr auch auf die Fischproduktion im Binnenland anzuwenden. Sie begründet dies damit, nur so könnten günstige Rahmenbedingungen geschaffen und die nachhaltige,

sozial ausgewogene, umwelt- und naturfreundliche sowie tiergerechte Entwicklung des Sektors gewährleistet werden. Nachvollziehbare Belege für diese Ansicht im Hinblick auf den binnenländischen Fischereisektor bleibt sie jedoch schuldig.

Anhand von konkreten Beispielen aus vier EU-Rechtsvorschriften betreffend Fischseuchen, tierische Nebenprodukte, die Verwendung nicht heimischer Arten und die "ökologische" Aquakultur wird aufgezeigt, dass diese Regelwerke im Hinblick auf die Aquakultur im Binnenland die gesetzten Ziele nicht immer erreichen können und hier einer Ressourcen schonenden Fischerzeugung zum Teil sogar erheblich entgegenwirken. Die Gründe dafür liegen vorrangig in einer mangelhaften Anpassung der Vorschriften an die besonderen Bedingungen der binnenländischen Aquakultur und in sachlich nicht nachvollziehbaren, überzogenen oder einseitig gefärbten Anforderungen.

1. Beispiel: Die Richtlinie 2006/88/EG des Rates vom 24. Oktober 2006 mit Gesundheits- und Hygienevorschriften für Tiere in Aquakultur und Aquakulturerzeugnisse und zur Verhütung und Bekämpfung bestimmter Wassertierkrankheiten.

Die Richtlinie ermöglicht es den Küstenstaaten, jeden in das Meer mündenden Fluss einzeln als seuchenfreies Gebiet auszuweisen, ohne dass ein Wanderungshindernis den Zuzug wandernder Fische

vom Meer her verhindern muss. Sie lässt es hingegen nicht zu, die Nebensysteme größerer Ströme einzeln auszuweisen, wenn diese nicht durch ein physisches Wanderhindernis abgesperrt sind. Das ist aus fischereibiologischer Sicht nicht nachzuvollziehen, denn die Fischfauna küstennaher Gewässer ist durch einen hohen Anteil diadromer Arten geprägt, es findet also ein relativ starker Austausch statt. Dagegen ist der Austausch zwischen den Seitensystemen großer Ströme oft schon auf Grund der Artenzusammensetzung vergleichsweise gering, vor allem dann, wenn der Hauptstrom staureguliert ist. Die Richtlinie lässt sich somit im Binnenland nur dann anwenden, wenn man auf die Durchwanderbarkeit des auszuweisenden Gewässers verzichtet. Dem stehen oft gewässerökologische Gründe entgegen. Die Aquakultur im Binnenland wird somit ohne sachlichen Grund eindeutig schlechter gestellt als die küstennaher Gebiete.

Die Richtlinie 2006/88/EG erfasst auch die KHV-Erkrankung. Sie hat es jedoch bis heute nicht vermocht, der Einschleppung und Weiterverbreitung dieser einst exotischen Seuche einen Riegel vorzuschieben. Nach wie vor werden sogar KHV-positive Fische eingeführt. Wie heißt es dagegen in den Erwägungsgründen: "Der Verhütung von Krankheiten sollte mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden als ihrer Bekämpfung."

2. Beispiel: Verordnung (EG) Nr. 708/2007 des Rates vom 11. Juni 2007 über die Verwendung nicht heimischer und gebietsfremder Arten in der Aquakultur („Aliens-VO“)

Man muss nur wenige Anforderungen aus der Aliens-VO etwas genauer betrachten um zu erkennen, dass das angeblich angestrebte Ziel, die europäischen Aquakulturbetriebe bei der notwendigen Diversifizierung ihre Artenpalette zu unterstützen, mit dieser Verordnung nicht erreicht werden kann. Dazu ein Auszug aus dem Antragsbogen:

- Beschreiben Sie die Überlebens- und Ansiedlungschancen des eingeführten Organismus, falls er entweicht? (Diese Frage betrifft Verbringungen in offene und geschlossene Aquakulturanlagen.)
- Welchen Lebensraum/Welche Lebensräume wird die eingeführte Art im vorgeschlagenen Einführungsgebiet vermutlich beanspruchen und wird es zu Überschneidungen mit empfindlichen, bedrohten oder gefährdeten Arten kommen? (Geben Sie an, ob das vorgeschlagene Einführungsgebiet auch angrenzende Gewässer umfasst.)
- Mit welchen einheimischen Arten wird es zu einer Überschneidung ökologischer Nischen kommen? Gibt es bisher ungenutzte Ressourcen, die sich die Art zu Nutzen machen würde?

- Wie wird sich der eingeführte Organismus im Aufnahmemilieu ernähren?
- Wird der Fraßdruck das Aufnahmeökosystem negativ beeinflussen?
- Werden die eingeführten Organismen im vorgeschlagenen Gebiet überleben und sich erfolgreich reproduzieren oder wird eine jährliche Bestandsaufstockung erforderlich sein? (Diese Frage betrifft nur Arten, die nicht für geschlossene Aquakulturanlagen bestimmt sind.)
- Werden die eingeführten Organismen mit einheimischen Arten hybridisieren? Kann es infolge der vorgeschlagenen Einführung zum Aussterben heimischer Arten oder Bestände kommen? Können sich die eingeführten Organismen auf das Laichverhalten und die Laichgründe lokaler Arten auswirken?
- Könnte sich die vorgeschlagene Einführung auf Lebensraum oder Wasserqualität auswirken?

Wohl kaum ein Aquakulturbetrieb in Deutschland wird in der Lage sein, diesen Fragebogen qualifiziert und vollständig beantworten zu können, soweit dies ohne Spekulation überhaupt möglich ist. Die Aliens-VO unterstützt nicht etwa die Diversifizierung in der Aquakultur, sondern sie unterbindet sie, weil ihre Anforderungen in der Praxis nicht zu erfüllen sind.

3. Beispiel: Vorschlag für eine Neufassung der Verordnung mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte (Verordnung über tierische Nebenprodukte)

Auf Grund der BSE-Problematik untersagt diese Verordnung auch "die Fütterung von Zuchtfisch mit verarbeitetem tierischen Protein, das aus Körpern oder Teilen von Körpern von Zuchtfischen derselben Art gewonnen wurde". Fachlich ist das nicht nachzuvollziehen, zumal Kannibalismus bei carnivoren Fischarten zum Normalverhalten gehört und es keine Hinweise auf Gesundheitsgefahren für den Menschen gibt.

Diese Bestimmung erschwert die sinnvolle Verwertung von Schlachtabfällen von Fischen aus der Aquakultur. Ein Nutzen ist nicht zu erkennen.

4. Beispiel: Entwurf einer EU-Verordnung zur Bio-/Öko-Kennzeichnung von Aquakulturprodukten

Nach vielfach geäußerter Auffassung der Kommission ist die Förderung der „ökologischen“ Aquakultur z. B. durch den Erlass einer entsprechenden Kennzeichnungsverordnung ein wesentlicher Beitrag zur Verbesserung der Nachhaltigkeit der Aquakultur. Begründet wird dies mit den Zielen „Erhaltung von Feuchtgebieten“ und

"Erhaltung von Arbeitsplätzen". Eine Begründung hinsichtlich der besonderen Bedeutung der in dem VO-Entwurf enthaltenen „technischen“ Vorschriften ist jedoch in dem Papier nicht zu finden.

Einige dieser Vorschriften sind ausgesprochen kontraproduktiv. So führen beispielsweise die Anforderungen, dass das Fischmehl und Fischöl in den Futtermitteln vorrangig aus Speisefischabfällen stammen muss und kein Zusatz synthetischer Aminosäuren erlaubt ist, zu einer deutlich erhöhten Ausscheidung an Ammoniak und Phosphor, also zu einer höheren Wasserbelastung bezogen auf die Produktionsmenge. Die relativ niedrigen Höchstgrenzen für Bestandsdichten bei Salmoniden fördern nicht nur die Revierbildung und somit "Prügeleien" zwischen den Fischen, sie zwingen auch zu häufigerem Sortieren. Beides geht zu Lasten des Tierschutzes. Die pauschale Forderung, dass Futterreste, Kot und Leichen umgehend zu entfernen sind, geht bei der Karpfenteichwirtschaft, der natur nächsten Form der Aquakultur in Mitteleuropa, schlicht an der Realität vorbei. Und die Vorschrift, nach der die Transportbehälter während des Transports zu versiegeln sind, zeugt zwar von Misstrauen, nicht aber von Sachkunde bezüglich Tier schonender Transporte.

Solche Mängel an gemeinschaftsrechtlichen Regelwerken, die bei entsprechender Berücksichtigung der binnenländischen Besonderheiten durchaus zu vermeiden wären, führen nicht nur zu völlig

überflüssigen Behinderungen der binnenländischen Aquakultur. Sie tragen darüber hinaus auch zu dem rapiden Verfall der Akzeptanz der EU-Regelungen bei den Betroffenen bei, der zudem durch die viel zu weit gehende Tiefe und Breite dieser Vorschriften befördert wird. Im Gegensatz zu der früher überwiegend positiven Stimmung gelten in der Praxis der Binnenfischerei die EU-Regelungen inzwischen als Inbegriff überzogener Bürokratie und als konsequente Missachtung des Subsidiaritätsprinzips.

ANSCHRIFTEN DER REFERENTEN

Brinker, Dr. Alexander

Fischereiforschungsstelle des Landes
Baden-Württemberg
Bildungs- und Wissenszentrum Aulendorf
Argenweg 50/1
88085 Langenargen
☎ 07543-9308-24
Alexander.Brinker@lvvg.bwl.de

Füllner, Dr. Gert

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Fachbereich Tierische Erzeugung
Referat Fischerei, Überbetriebliche
Ausbildung
Gutsstraße 1
02699 Königswartha
☎ 035931-296-18
gert.fuellner@smul.sachsen.de

Hilge, Prof. Dr. Volker

Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesforschungsinstitut für Ländliche
Räume, Wald und Fischerei
Institut für Fischereiökologie
Außenstelle Ahrensburg
Wulfsdorfer Weg 204
22926 Ahrensburg
☎ 04102-51128
volker.hilge@vti.bund.de

Reiter, Dr. Reinhard

Landesanstalt für Landwirtschaft
Institut für Fischerei
Weilheimer Straße 8
82319 Starnberg
☎ 08151-2692-125
reinhard.reiter@lfl.Bayern.de

Rösch, Dr. Roland

Fischereiforschungsstelle des Landes
Baden-Württemberg
Bildungs- und Wissenszentrum Aulendorf
Argenweg 50/1
88085 Langenargen
☎ 07543-9308-16
Roland.Roesch@lvvg.bwl.de

Rümmler, Dr. Frank

Institut für Binnenfischerei e.V.
Jägerhof am Sacrower See
Im Königswald 2
14469 Potsdam
☎ 033201-406-12
frank.ruemmler@ifb-potsdam.de

Schulz, Prof. Dr. Carsten

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Institut für Tierzucht und Tierhaltung
Olshausenstraße 40
24098 Kiel
☎ 0431-880-5388
cschulz@tierzucht.uni-kiel.de
und:
Gesellschaft für Marine Aquakultur mbH
Hafentörn 3
25761 Büsum
☎ 04834-965399-12

Strubelt, Thijlbert

Ministerium für Ernährung und Ländl. Raum
Kerner Platz 10
70182 Stuttgart
☎ 0711-126-2288
thijlbert.strubelt@mlr.bwl.de

Tautenhahn, Alexander

Forellenzucht Troststadt GbR
Dorfstraße 7
98646 Troststadt
☎ 036873-60321
forelle-troststadt@freenet.de

v. Lukowicz, Dr. Mathias

Feldafinger Str. 43 d

82343 Pöcking

☎ 08157-7722

Mathias@vonLukowicz.com

Wedekind, Dr. Helmut

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Institut für Fischerei

Weilheimer Straße 8

82319 Starnberg

☎ 08151-2692-100

helmut.wedekind@lfl.Bayern.de