

Güttler, Stefan

Working Paper

Forschung und Entwicklung in der Aquakultur: Ein Überblick über Arbeitsgebiete und offene Fragen

I&I Working Paper, No. 01/2008

Provided in Cooperation with:

Christian-Albrechts-University of Kiel, Department of Agricultural Economics

Suggested Citation: Güttler, Stefan (2008) : Forschung und Entwicklung in der Aquakultur: Ein Überblick über Arbeitsgebiete und offene Fragen, I&I Working Paper, No. 01/2008, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Agrarökonomie, Kiel

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/44472>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.



Innovation & Information Working Paper
Institut für Agrarökonomie, CAU Kiel

Forschung und Entwicklung in der Aquakultur

-Ein Überblick über Arbeitsgebiete und offene Fragen-

von

Stefan Güttler

I & I Working Paper 2008

ISSN 2190-6440

verfügbar unter:

<http://www.agric-econ.uni-kiel.de/Abteilungen/II/wp.shtml>

– *Innovation & Information* –

Institut für Agrarökonomie

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Dezember 2008

Olshausenstrasse 40, 24118 Kiel, Germany; Tel.: +49 0431-880-4419

E-mail: iui@agric-econ.uni-kiel.de; E-mail Autor: stefan.guettler@ae.uni-kiel.de

Internet: www.agric-econ.uni-kiel.de/Abteilungen/II/

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS	I
TABELLENVERZEICHNIS	II
1. EINLEITUNG	1
2. BEDEUTUNG DER AQUAKULTUR	2
3. ZÜCHTUNG UND REPRODUKTION	3
4. HALTUNGS- UND WASSERMANAGEMENT	4
4.1. ANLAGENÜBERGREIFENDE AQ-F+E-GEBIETE	5
4.2. KREISLAUFANLAGEN	7
4.3. NETZGEHEGEANLAGEN	8
5. FISCHGESUNDHEIT	9
6. FISCHERNÄHRUNG	11
7. ÖKONOMIE, MARKETING UND QUALITÄTSMANAGEMENT DER AQUAKULTUR	13
7.1. VOLKSWIRTSCHAFTLICHE BETRACHTUNG	13
7.2. BETRIEBSWIRTSCHAFTLICHE BETRACHTUNG	13
7.3. QUALITÄTSMANAGEMENT	14
7.4. MARKETING	16
8. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSBETRACHTUNG	16
LITERATURVERZEICHNIS	III

TABELLENVERZEICHNIS

TABELLE 1: ÜBERBLICK DER AQ-F+E-BEREICHE UND -INHALTE

18

1. EINLEITUNG

Unter Aquakultur versteht man die kontrollierte Aufzucht von aquatischen Organismen, wie Fischen, Krebstieren, Muscheln und Pflanzen (Schulz et al. 2005). Die Anfänge der Aquakultur begannen vor ca. 4000 Jahren in China; der quantitative Aufschwung setzte jedoch erst in den 1960er Jahren ein, als die ersten genetischen Verbesserungsprogramme erfolgreich durchgeführt wurden (Dunham et al. 2001; Wandtner 2007; Uthoff 1999).

Die Aquakultur könnte in Zukunft weiterhin stark an Bedeutung gewinnen und zur Ernährung der Weltbevölkerung noch wesentlich mehr beitragen, als es derzeit schon der Fall ist: Zum einen sind die Fänge der Fischereiflotte in den letzten Jahren konstant oder leicht rückläufig und die Meere überfischt, zum anderen ist durch eine steigende Weltbevölkerung und einem steigenden Wohlstand mit einer Erhöhung der Nachfrage nach Fisch zu rechnen (Subasinghe 2006). Die somit auftretende Angebotslücke könnte daher mit Produkten aus der Aquakulturproduktion gedeckt werden (de Silva 2001; Delgado et al. 2003; Schulz et al. 2005; Subasinghe 2006; FAO 2007).

Dieses Working-Paper konzentriert sich auf die Aquakultur als Produktionssystem für Fische in Hocheinkommensländern. Die Produktion von Mollusken, Crustaceen und Pflanzen wird nicht betrachtet. Die Aquakulturproduktion in Entwicklungsländern, in denen es teilweise an Vorschriften für Hygienemaßnahmen, Lebensmittelsicherheit und Umweltstandards mangelt, die bspw. den Einsatz von Chemikalien regeln, wird ebenfalls nicht in diesem Working Paper behandelt. Unterschiede zwischen der Produktion in Europa und China bestehen auch im Arbeits- und Kapitaleinsatz, der sich zum Teil durch die Nutzung von intensiven Systemen begründen lässt.

Unter Forschung und Entwicklung (F+E) wird die Suche nach neuen Erkenntnissen unter Anwendung wissenschaftlicher Methoden verstanden. Forschung ist der generelle Erwerb neuer Kenntnisse. Entwicklung ist die erstmalige konkretisierende und praktische Verwendung und Anwendung der gewonnenen Kenntnisse. Die neuen Kenntnisse können sich sowohl auf Produkte als auch auf (Herstellungs-)Verfahren und Produkt- sowie Verfahrensanwendungen erstrecken. Desweiteren wird zwischen der Grundlagenforschung und der angewandten Forschung unterschieden. Die Generierung, Weiterentwicklung und schließlich die Anwendung des „neuen“ Wissens kann zu Produktivitätssteigerungen in der Aquakulturproduktion führen. Dieses Working Paper soll einen Einblick in die wesentlichen Bereiche der Aquakulturforschung- und Entwicklung (AQ-F+E) bieten. In der Vergangenheit basierten viele Forschungserfolge in der Aquakultur eher auf „trial and error“ als auf wissenschaftlicher

Forschung (Shang 1986). Im Vergleich zu der Nutztierhaltung, wie von Schweinen, Rindern und Geflügel, ist die Aquakultur eine „junge“ Technologie in der noch viel Forschungs- und Entwicklungsbedarf und somit auch viele Chancen bestehen.

Das Working Paper dient als Vorstufe einer weltweiten Delphi-Umfrage unter Aquakulturrexperten. In der Delphi-Studie bewerten die Experten in mehreren Runden die derzeitige und zukünftige Relevanz zu den in diesem Working Paper beschriebenen AQ-F+E-Bereichen sowie ausgewählte Fragestellungen zu den einzelnen Themenbereichen. In einem weiteren Schritt sollen dann die Ergebnisse der Delphi-Studie in Kombination mit einer Fischmarktanalyse dazu dienen, die wohlfahrtsökonomischen Auswirkungen der AQ-F+E abzuschätzen.

Das Working Paper ist wie folgt gegliedert: Um zunächst einen Überblick über die Bedeutung der Aquakultur zu erlangen dient Kapitel 2. Anschließend werden unterschiedliche Forschungsbereiche der Aquakultur vorgestellt. Dies sind die Bereiche Züchtung und Reproduktion (Kap. 2), Haltungs- und Wassermanagement (Kap. 3), Fischgesundheit (Kap. 4) und Fischernährung (Kap. 5). Zusätzlich soll die Forschung im Bereich des Marketings, Qualitätsmanagements und der Ökonomie der Aquakultur (Kap. 6) beleuchtet werden, bevor das Working Paper mit einer Zusammenfassung und einer Schlussbetrachtung (Kap. 7) endet.

2. BEDEUTUNG DER AQUAKULTUR

Die Aquakulturproduktion hat sich in den letzten Jahrzehnten rasant entwickelt. Betrug der mengenmäßige Anteil der Aquakulturproduktion im Jahr 1970 noch 3,9% an der gesamten Fischproduktion, so waren es im Jahr 2004 schon 32,4% (FAO 2007). Die weltweite Aquakulturproduktion stieg zwischen 1950 und 2004 von unter 1 Mio. t auf 59,4 Mio. t an, wovon im Jahre 2004 ca. 28 Mio. t auf die Produktion von Fischen entfielen (FAO 2007). Die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate lag zwischen den Jahren 1970 und 2004 bei 8,8%. Damit ist die Aquakultur der am schnellsten wachsende Sektor in der Nahrungsmittelproduktion (FAO 2007; Schulz et al. 2005). Der Großteil der weltweiten Aquakulturproduktion stammte im Jahr 2004 mit über 90% aus Asien, wobei der größte Anteil mit über 69% in China produziert wurde. Auf Westeuropa entfallen gerade einmal 3,5% der weltweiten Aquakulturproduktion (FAO 2007).

Die Aquakulturproduktion in Europa unterscheidet sich stark von der Produktion in Asien. Im asiatischen Raum dominieren herbivore und omnivore Fischarten die Produktpalette, die in extensiven oder semi-intensiven Anlagen produziert werden (FAO 2007). Die Produktion in

Asien beschränkt sich hauptsächlich auf karpfenartige Fische in kleinen, oft von Kleinbauern betriebenen Anlagen (FAO 2007; Naylor et al 2000; Hishamunda und Subasinghe 2003). In den entwickelten Ländern dagegen gehören 75% der produzierten Fische zu den carnivoren Fischarten (FAO 2007). Diese höherwertigen Fischarten werden in intensiv betriebenen Anlagen produziert (FAO 2007; Naylor et al 2000). In Europa werden hauptsächlich Lachse, Forellen, Wolfsbarsche, Doraden, Steinbutt aber auch Karpfen gezüchtet. Die Hauptproduktionsländer sind Norwegen, Großbritannien, Spanien, Frankreich, Italien, Griechenland und die Türkei (Varadi et al. 2001; Eurostat 2008; Europäische Kommission 2008).

3. ZÜCHTUNG UND REPRODUKTION

Weltweit werden über 240 Fischarten gezüchtet; allein in Taiwan sind es über 90 Arten (Liao et al. 2001; Rees 2008). Welcher Fisch in Aquakulturen produziert wird, hängt nicht nur davon ab, ob die Zucht gelingt, sondern auch davon, ob für die Fischart eine Absatzmöglichkeit am Markt besteht, ob die Produktion wirtschaftlich durchführbar ist und ob Konkurrenz mit den Fängen der Fischereiflotte besteht. Gerade für Kreislaufanlagen, in denen ein Großteil des Wassers wiederaufbereitet wird bevor es erneut in die Fischbecken gelangt, eignen sich meist nur hochpreisige Fische, wie z.B. Aal, Steinbutt, Wels oder Wolfsbarsch, da die Produktion durch die eingesetzte Technik sehr kostenintensiv ist. Hierzu bestehen zusätzlich Unterschiede zwischen einzelnen Kulturen und Regionen, die sich unterschiedlich auf die Fischnachfrage auswirken (Lee 2003; Uthoff 1999).

Die Zucht in Europa beschränkt sich auf einige wenige Arten und scheint sehr vom Markt bestimmt zu sein (Lee 2003; Shields 2001). Es scheint sich jedoch ein leichter Trend zur Diversifizierung abzuzeichnen, der Chancen und Risiken birgt, denn bis eine Züchtungsstrategie soweit ausgereift ist, das aus ihr ein neue, marktfähige „Aquakulturart“ hervorgeht, vergehen in der Regel 10 bis 15 Jahre (Shields 2001; Lee 2003; Hulata 2001).

Die AQ-F+E zielt darauf ab, die Produktivität der Aquakulturanlagen ständig zu erhöhen. Neben den anderen AQ-F+E-Gebieten, die hier behandelt werden, kann auch das Forschungsgebiet Züchtung und Reproduktion seinen Beitrag zur Produktivitätssteigerung leisten (Dunham et al. 2001). Die Zuchtziele sind dementsprechend die Steigerung der Wachstumsraten, die Erhöhung der Krankheitsresistenzen, die Verbesserung der Fischqualität sowie die Verzögerung der Geschlechtsreife. Alle genannten Ziele bedeuten eine Erhöhung der Produktivität der Aquakulturproduktion (Dunham et al. 2001; Hallerman et al. 2007; Hew und Fletcher 2001; Melamed et al. 2002).

Innerhalb des Bereichs Züchtung und Reproduktion werden u.a. die verschiedenen Zuchtmethoden erforscht. Hierbei konzentriert man sich nicht nur auf „traditionelle“ Verfahren, wie z.B. Selektions-, Kreuz- und Hybridzüchtungen, sondern auch auf die weiter unten genannten „modernen“ Verfahren, die mit den vorhergenannten teilweise kombiniert werden, um die Fische genetisch zu verbessern und Zuchterfolge schneller zu realisieren (Hulata 2001; Dunham et al. 2001). Zu nennen sind hier u.a. markerbasierte Selektionszüchtungen, transgene Verfahren sowie Chromosomensatz- und Geschlechtsmanipulation. Die Erzeugung monogeschlechtlicher Bestände ist bei denjenigen Fischarten von Vorteil, bei denen das Wachstum vom Geschlecht abhängig ist, wie es z.B. bei Regenbogenforellen (*Oncorhynchus mykiss*) oder Tilapia (*Oreochromis niloticus*) der Fall ist (Dunham et al. 2001).

Neben den Zuchtmethoden steht auch die Reproduktionsbiologie im Vordergrund der Forschung im Bereich Züchtung und Reproduktion. Nur bei wenigen Arten gelingt die Reproduktion unter künstlichen Bedingungen, so dass Besatzmaterial oft aus Wildfängen gewonnen werden muss (Schulz et al. 2005). Ziel ist es hier, die Fische unter „künstlichen Bedingungen“ zu vermehren und so Besatzmaterial für die Aquakulturanlagen zu produzieren (Dunham et al. 2001).

Die zukünftige Entwicklung im Forschungsbereich der Züchtung und Reproduktion könnte sich auf die Kombination von klassischen Selektionszüchtungen mit neueren Biotechnologien konzentrieren, um die Effektivität der Zuchtverfahren zu erhöhen und so schneller genetische Verbesserungen bei den Fischen zu erlangen (Dunham et al. 2001; Hulata 2001). Hierfür wird der vermehrte Einsatz von gezielten Zuchtprogrammen gefordert (Dunham et al. 2001). Desweiteren könnten durch interdisziplinäre Forschungsansätze weitere Fortschritte erzielt werden (Lee und Donaldson 2001).

4. HALTUNGS- UND WASSERMANAGEMENT

Im Bereich des Haltungs- und Wassermanagements beschäftigt sich die AQ-F+E mit der Optimierung der Haltungsbedingungen in den verschiedenen Anlagentypen sowie mit der Verbesserung der Wasserqualität, um die Wachstumsraten der Fische zu erhöhen und somit die Produktivität zu steigern. Generell werden die Produktionssysteme in Teichanlagen, Durchflussanlagen, Netzgehegeanlagen und Kreislaufanlagen unterschieden (Schulz et al. 2005; Funge-Smith und Phillips 2001).

4.1. Anlagenübergreifende AQ-F+E-Gebiete

Um die Aquakulturproduktion umweltgerechter zu gestalten, ist die Reduzierung der Nährstoffausträge, die überwiegend aus Durchflussanlagen und Netzgehegen stammen, von besonderer Bedeutung. Dies kann durch nachgeschaltete mechanisch-physikalisch Reinigungsanlagen oder Pflanzenkläranlagen geschehen, deren Technologien jedoch noch nicht ausgereift sind (Schulz et al. 2005). Der Einsatz von verbesserten Futtermitteln, z.B. extrudierte Pellets, sorgen ebenfalls für eine geringere Nährstoffbelastung des Wassers. Aber auch der Frischwasserbedarf soll unter Berücksichtigung der knapper werdenden Wasserressourcen reduziert werden (Schulz et al. 2005). In Dänemark gibt es beispielsweise staatliche Zuschüsse für Durchflussanlagen, die den Frischwasserbedarf durch eine Wiederaufbereitung des verwendeten Wassers in sogenannten Teilkreislaufanlagen senken (Bomsdorf 2008).

Die AQ-F+E findet oft nur unter Laborbedingungen oder in kleinen Maßstäben statt. Bei der Übertragung und Anwendung der erforschten Methoden und Verfahren in größere Anlagen kann es zu „Scale-up-Problemen“ kommen (Correa; Angela 2001).

Weiter Forschungsbereiche im Gebiet des Haltungs- und Wassermanagements sind:

- Form und Material der Haltungsbecken: Bei der Form spielt z.B. in Kreislaufanlagen die darin erzeugte Strömung eine Rolle für die Selbstreinigung der Becken (Labatut et al. 2007; Timmons et al. 2002). Die Beckenform spielt auch eine Rolle für den Umgang mit den Fischen, wenn sie bspw. gefangen oder sortiert werden sollen (Labatut et al. 2007; Timmons et al. 2002). Desweiteren wird diskutiert, welches Material für ein Becken verwendet werden sollte (Wilton 2001).

Die Netzgehegeanlagen sind ständig den Kräften des Meeres ausgesetzt, so dass hohe Anforderungen an das eingesetzte Material bestehen. Deshalb wird an Verbesserungen des eingesetzten Materials geforscht (Funge-Smith und Phillips 2001).

- Wassermanagement: Im Bereich des Wassermanagements werden die Durchflusgeschwindigkeit und die Wasseraustauschraten so angepasst, dass eine hohe Selbstreinigungswirkung der Becken erzielt wird und gleichzeitig die Fische in einer ständigen Schwimmbewegung zu halten, wodurch sich positive Effekte auf das Wachstum der Fische ergeben können (Labatut et al. 2007; Timmons et al. 2002).
- Begasung und Entgasungssysteme werden zur Anreicherung des Wassers mit Sauerstoff oder anderen erwünschten Gasen und zur Entfernung von unerwünschten Gasen eingesetzt (Timmons et al. 2002).

- Fütterungstechnologien und –strategien: Hier steht die Entwicklung von Fütterungsplänen (Bestimmung von Zeitpunkt der Fütterung und Futterzusammensetzung), Bestimmung der optimalen Futtermenge und die Entwicklung von Fütterungsautomaten im Blickpunkt der Forschung (Funge-Smith und Phillips 2001; Hasan 2001).
- Mechanische und biologische Reinigungsverfahren: In Kreislaufanlagen aber teilweise auch in Durchflussanlagen wird das Wasser durch den Einsatz von Filtern von gelösten und ungelösten Partikeln gereinigt. Hierzu stehen mechanische und biologische Filter zur Verfügung, die meist kombiniert werden. Die Interaktion zwischen den verschiedenen Filtertypen, der Einsatz von verschiedenen Filtermaterialien sowie die Zusammensetzung und Entwicklung des sich bildenden Biofilms in Biofiltern und die Filtereffizienz müssen nach Ansicht einer Reihe von Wissenschaftlern noch näher erforscht werden (Timmons et al. 2002; Eding et al. 2006; Lekang und Kleppe 2000; van Rijn et al. 2006; Crab et al. 2007; Saliling et al. 2007).
- Die Besatzdichte gibt die Masse an Fisch pro Volumeneinheit Wasser an. Bei der Wahl der „optimalen“ Besatzdichte spielen mehrere Faktoren eine Rolle. Diese Faktoren sind u.a. die Fischart und deren spezifische soziale Verhaltensweise, die Größe der Fische und die verwendeten Filteranlagen (Kazmierczak und Caffey 1996; Timmons et al. 2002). Die Besatzdichte sollte so gewählt sein, dass größtmögliche Zuwachsraten erzielt werden können und sich die Fische gegenseitig keine Schäden, z.B. Bissverletzungen, zufügen.

Für die Bestimmung der geeigneten Futtermenge ist es für den Anlagenbetreiber von Bedeutung, die Besatzdichte eines Fischbeckens zu kennen. Zu wenig Futter führt zu einem verlangsamten Wachstum, zu viel Futter führt zu einer übermäßigen Wasserbelastung. Daher ist es notwendig, die Besatzdichte und die Entwicklung der Fische ständig zu überwachen, in dem z.B. „Monitoring-Systeme“ eingesetzt und entwickelt werden (Timmons et al. 2002).

Generell besteht für alle Anlagentypen noch Forschungsbedarf und Verbesserungspotenzial (Funge-Smith und Phillips 2001). Ein Großteil der zukünftigen AQ-F+E wird sich deshalb voraussichtlich auf die noch nicht ausgereifte Kreislaufanlagentechnik (Kap. 4.2), aber auch auf die Netzgeheganlagen (Kap. 4.3) konzentrieren (Funge-Smith und Phillips 2001).

4.2. Kreislaufanlagen

Speziell für Kreislaufanlagen lassen sich folgende, zukünftige Forschungsbereiche identifizieren:

- Da Kreislaufanlagen sehr energieaufwendig sind entstehen im Vergleich zu den anderen Anlagentypen relativ hohe Kosten, die es erschweren, eine Kreislaufanlage wirtschaftlich zu betreiben. Um die Wirtschaftlichkeit von Kreislaufanlagen in Zukunft zu erhöhen, sind Kostensenkungen ein möglicher Ansatzpunkt (Funge-Smith und Phillips 2001). Dies kann u.a. durch Effizienzsteigerungen der Biofilter erreicht werden, in dem energiesparendere Konstruktionen entwickelt, günstigere Filtermedien verwendet und somit die Betriebskosten gesenkt werden (van Rijn et al. 2006).
- Interaktion zwischen den verschiedenen Komponenten: Biofilter und mechanische Filter. Viele Untersuchungen basieren nur auf Labortests, so dass es an praktischen Erfahrungen in der Anwendung und der Kombination der verschiedenen Filtertypen in großen Anlagen mangelt (Eding et al. 2006; Funge-Smith und Phillips 2001).
- Um Fortschritte für das Design, die Konstruktion und den Einsatz von Biofiltern zu erlangen, ist ein besseres Verständnis über Biofilme und die Akkumulation von Nebenprodukten von Bedeutung. So ist z.B. wenig über die Interaktion von Pathogenen und nützlichen Mikroben sowie die Populationsdynamik von Bakterien in Biofiltern bekannt (Gutierrez-Wing und Malone 2006; Funge-Smith und Phillips 2001; van Rijn et al. 2006).
- „Scale-up Probleme“: Über die kommerzielle Anwendung und Leistungsfähigkeit von Biofiltern ist wenig bekannt. Die meisten Studien zu Biofiltern beruhen auf Laborversuchen und Pilotstudien. Jedoch erst der Einsatz der Biofilter in großen Kreislaufanlagen kann das Wissen über die Filter und deren Konstruktion erweitern und verbessern (Funge-Smith und Phillips 2001; van Rijn et al. 2006; Eding et al. 2006). Die Konstruktion eines Filters für einen bestimmten Anlagentyp ist von vielen Faktoren, wie z.B. Fischart, Futtermittelzusammensetzung, Fütterungsstrategie und –management, Filtermedium und der Konfiguration des gesamten Systems abhängig. Der Einfluss der einzelnen Komponenten ist nur bei einigen Anlagentypen bekannt. Ändert sich ein Parameter, kann dies die Filterleistung erheblich beeinträchtigen (Eding et al. 2006).
- Akklimatisierung von Biofiltern: Biofilme benötigen einen gewissen Zeitraum, bis sich die notwendigen Bakterien angesiedelt haben, die das Wasser reinigen. Dies ist u.a. von den Wassertemperaturen und weiteren Umweltparametern abhängig, über die

bisher noch nicht genügend bekannt ist (Timmons et al. 2002; Gutierrez-Wing und Malone 2006).

- Wasserdesinfektion durch UV-Bestrahlung oder mit Ozon: In Kreislaufanlagen bietet es sich an, das Wasser zu desinfizieren, bevor es in die Fischbecken zurückgeleitet wird, um bspw. schädliche Bakterien oder Keime zu entfernen, die in den Filtern nicht entfernt werden können. Hierzu kann das Wasser mit UV-Licht bestrahlt oder mit Ozon behandelt werden. Auch eine Kombination von beiden Technologien ist möglich. (Summerfelt 2003; Sharrer und Summerfelt 2007; Tango und Gagnon 2003; Timmons et al. 2002).

4.3. Netzgeheeanlagen

Netzgeheeanlagen werden heutzutage meist in Küstennähe betrieben. In Zukunft könnte sich die Produktion in Netzgeheeanlagen weiter ins offene Meer hinaus verlagern und die einzelnen Anlagen könnten dabei noch größer gestaltet werden (Funge-Smith und Phillips 2001).

Für die Konstruktion solcher Anlagen besteht Forschungsbedarf in folgenden Bereichen:

- Material: Es werden stärkere Netze benötigt, die zudem nicht so anfällig für Algen sind, denn der Einsatz von „Anti-Fouling-Mitteln“ ist verboten (Funge-Smith und Phillips 2001).
- Design: In Zukunft könnten die Anlagen größer und tiefer sein als die bisher bestehenden Anlagen. Dies erfordert ein neues Design, neue Ausstattungen für den Umgang und die Sortierung der Fische, aber auch ein ausgefeiltes Risikomanagements der Netzgeheeanlagen (Funge-Smith und Phillips 2001).
- Monitoring: Zur Bestimmung der optimalen Futtermenge und zur Reduktion der Wasserbelastung sollte die Sterberate, die Anzahl und Größe der lebenden Fische sowie die Menge der Futterreste täglich geschätzt werden. Dies kann durch automatische Systeme erfolgen (Funge-Smith und Phillips 2001).
- Überwachung und Steuerung: In der Aquakultur werden verstärkt Computer zur Überwachung und Steuerung der Anlagen eingesetzt. Die in der Aquakultur eingesetzten Computersysteme stehen noch am Beginn ihrer Entwicklung. Die möglichen Einsatzgebiete erstrecken sich von der finanziellen Kontrolle über entscheidungsunterstützende Systeme und bessere Managementsoftware für Anlagen bis hin zur Online-Überwachung, Kalibrierung und Selbstdiagnose der Anlagen. Computergestützte Entscheidungen, bspw. die Wahl des optimalen Sortierzeitpunktes oder die Bestimmung

der Futtermengen, können die Bewirtschaftung der Anlage für den Betreiber erleichtern (Funge-Smith und Phillips 2001).

5. FISCHGESUNDHEIT

Mit der Ausweitung des internationalen Handels ist auch die weltweite Verbreitung von Fischkrankheiten verbunden, die die AQ-F+E vor weitere, neue Herausforderungen stellen (Subasinghe et al. 2001). Die Fischkrankheiten können in folgende Kategorien aufgeteilt werden: (i) Virose, (ii) Bakteriose, (iii) Parasitose, (iv) Pilzerkrankungen sowie (v) umwelt- und ernährungsbedingte Krankheiten (Bergleiter et al. 2005). Derzeit sorgen Virose, Bakteriose und umwelt- und ernährungsbedingte Krankheiten in Aquakulturanlagen in dieser Reihenfolge für die größten, krankheitsbedingten Schäden (persönl. Gespräch Steinhagen). Die ordinären Verluste an Fischen in Aquakulturanlagen werden zwischen 20 und 50% geschätzt, wobei die Verluste von vielen Faktoren abhängig sein können (persönl. Gespräch Hilge). Forschungsgebiete im Bereich der Fischgesundheit sind zum einen die Behandlung aber auch die Vorbeugung und Früherkennung von Krankheiten, um die Fischverluste zu mindern und somit die Produktivität zu steigern (Subasinghe et al. 2001).

Die Wahrscheinlichkeit für den Ausbruch einer Krankheit lässt sich verringern, wenn gewisse Hygiene-Standards, wie z.B. die Desinfektion von Geräten und Personal, eingehalten werden und die Haltungsbedingungen; wie z.B. Besatzdichten, Wasserqualität und Futter auf die produzierte Fischart abgestimmt sind. Stimmen diese Haltungsparameter längere Zeit nicht mit den Anforderungen der Fische überein, werden sie anfällig für Krankheiten (Subasinghe et al. 2001). Der Einsatz von Impfstoffen kann Infektionskrankheiten vorbeugen und so die Mortalitätsraten der Fische deutlich senken und zudem die Notwendigkeit des Einsatzes chemischer Medikamente verringern (EU 2007). Im Bereich der Virose existieren u.a. Impfstoffe zur Vorbeugung gegen die Virale Haemorrhagische Septikämie (VHS) und im Bereich der Bakteriose gegen die Rotmaulseuche (ERM) und die Furunkulose (Bergleiter et al. 2005). Die Impfstoffe können auf abgetöteten oder abgeschwächten lebenden Erregern basieren oder neuerdings mit Hilfe gentechnischer Verfahren hergestellt werden (Myhr und Dalmo 2005). Die Impfung von Lachsen führte z.B. dazu, dass der Einsatz von Antibiotika in der norwegischen Lachsproduktion von 48,6 t im Jahr 1987 auf ca. 1,05 t im Jahr 2002 zurückgegangen ist, wobei sich die Lachsproduktion zeitgleich von 55.300 t (1987) auf 553.000 t (2002) verzehnfacht hat (NIFES 2003). Der Einsatz von Antibiotika kann eine Reihe von Nachteilen mit sich führen. Hierzu gehören neben möglichen Umweltschädigungen und der Bildung von Resis-

tenzen bei den Erregern auch lange Wartezeiten für die Vermarktung der mit Antibiotika behandelten Fische (Bergleiter et al. 2005, Naylor et al. 1998). Antibiotika-Rückstände in den Speisefischen können zudem auch zu Gesundheitsproblemen bei den Konsumenten führen (Bergleiter et al. 2005).

Ein weiterer AQ-F+E-Bereich innerhalb der Fischgesundheit ist die Früherkennung von Krankheiten, um z.B. Virusträger sicher zu erkennen. Je früher eine Krankheit erkannt wird, desto größer sind die Heilungsmöglichkeiten und die Fischverluste vermindern sich. Hierdurch soll die Verbreitung von Krankheiten vermieden werden (Subasinghe et al. 2001).

Ist eine Krankheit ausgebrochen und erkannt, muss durch Laboranalysen festgestellt werden, um welche Krankheit es sich handelt. Hier gilt es, die Untersuchungsverfahren zu verbessern, um Krankheiten schnell und eindeutig bestimmen zu können (Subasinghe et al. 2001). Desweiteren muss dann darüber entschieden werden, ob und wie die erkrankten Fische behandelt werden. In Deutschland sind zurzeit zwei Antibiotika auf dem Markt, die auch für den Einsatz in der Aquakultur zugelassen sind (persönl. Gespräch Steinhagen). Im AQ-F+E-Bereich Fischgesundheit wird an der Entwicklung weiterer neuer Medikamente geforscht.

Bei der Impfung von landwirtschaftlichen Nutztieren, wird es zunehmend bedeutsam, geimpfte von infizierten Tieren unterscheiden zu können, um so die Ansteckungsgefahr zu bestimmen. Impfstoffe, die diese Anforderungen erfüllen, werden als Negativmarker-Impfstoffe oder DIVA-Impfstoffe („differentiating infected from vaccinated animals“) bezeichnet. Mit dem Einsatz der DIVA-Impfstoffe in der Aquakultur wird erst in einigen Jahren (ca. 2015 – 2020) gerechnet (persönl. Gespräch Steinhagen).

Die Prophylaxe wird in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen, da bei Viruserkrankungen keine Therapiemöglichkeiten bestehen und bei Bakteriosen das Problem der Resistenzbildung gegenüber den eingesetzten Chemotherapeutika auftreten kann. Möglichkeiten zur Reduktion der Krankheitsempfindlichkeit bestehen durch den Einsatz von Impfstoffen, Fütterung und genetische Selektion (persönl. Gespräch Steinhagen).

6. FISCHERNÄHRUNG

Das Futter ist eines der wichtigsten Produktionsfaktoren in der intensiven Aquakultur und der Anteil der Futterkosten an den gesamten Produktionskosten beträgt je nach Anlagentyp ca. 40-60%. Das Futter muss hohen Ansprüchen genügen, denn es hat direkten Einfluss auf das Wachstum, die Gesundheit und die Qualität des Fisches als Lebensmittel. Des Weiteren wird die Umwelt durch nicht aufgenommenes Futter aber auch durch in den Fäzes enthaltene Phosphate und Stickstoffe belastet (Hasan 2001).

Da viele Fischarten sich auch in der freien Wildbahn von Fischen ernähren, ist Fisch ebenfalls das beste Futter für den Einsatz in der Aquakultur. Das hochwertige Futter besteht bis zu ca. 50% aus Fischmehl und bis zu ca. 25% aus Fischöl, die aus für den menschlichen Konsum weniger geeigneten Fischarten gewonnen werden. Gerade bei carnivoren Fischarten, wie z.B. Lachs, sind die Anteile dieser beiden Inhaltsstoffe besonders hoch, wohingegen herbivore oder omnivore Fischarten, wie z.B. Karpfen, nur bedingt auf diese Rohstoffe angewiesen sind (New und Wijkström 2002; Naylor et al. 2000).

Die Aquakulturproduktion carnivorer Arten ist also stark von der Fangfischerei abhängig. Zur Produktion von 1 kg Aquakulturfisch wird zurzeit noch mehr als 1 kg Wildfisch benötigt, so dass die Aquakulturproduktion nicht zur Entlastung der Wildfischbestände beiträgt und daher die Aquakulturproduktion, so lange der Anteil fangfischbasierter Futterstoffe nicht deutlich gesenkt werden kann, nicht nachhaltig zu sein scheint (Hasan 2001; New und Wijkström 2002; Gatlin et al. 2007). Es ist demzufolge von entscheidender Bedeutung für die zukünftige Entwicklung der Aquakultur, dass die Determinanten der Transformationsrate von Wildfisch zu Aquakulturfisch von derzeit größer als eins so verändert werden, dass die Transformationsrate den kritischen Wert von eins unterschreitet.

Eine Möglichkeit, dieser drohenden Fischmehl- und -ölfalle entgegenzusteuern ist der technische Fortschritt, der sich u.a. in den folgenden drei Punkten bemerkbar machen kann:

- Effizienzsteigerungen in der Futtergewinnung aus Fangfischen;
- verbesserte Futterverwertung carnivorer Fischarten;
- partielle Substitution des Fischmehls und -öls im Futtermittel durch alternative Rohstoffe (Hasan 2001; Delgado et al. 2003; Gatlin et al. 2007; Naylor et al. 2000; New und Wijkström 2002).

Das Futterumwandlungsverhältnis lässt sich auf verschiedenen Wegen verbessern: Zum einen kann dies durch die Domestizierung und die genetische Verbesserung der Fische erreicht werden (Dunham et al. 2001). Zum anderen ist das Wissen um die Ernährungsphysiologie der Fische derzeit noch recht begrenzt und gegenüber dem Kenntnisstand bei landlebenden Tieren

weit zurück (Schulz et al. 2005). Desweiteren können neue Futterformulierungen die Abhängigkeit der Aquakultur von der Fangfischerei mildern (Glencross et al. 2007).

An den alternativen Rohstoffen für die Fütterung carnivorer Fische bestehen hohe Anforderungen: Sie müssen in ausreichenden Mengen verfügbar, kostengünstig, leicht bearbeitbar, transportierbar und lagerfähig sein und zudem wenig Ballaststoffe, Stärke und antinutritive Komponenten enthalten. Wünschenswert ist ein hoher Proteingehalt, ein für die Fische günstiges Aminosäuren-Profil sowie eine hohe Verdaulichkeit und Schmackhaftigkeit für die Fische (Gatlin et al. 2007).

Als alternative Proteinquellen kommen pflanzliche Produkte (Getreide, Ölfrüchte, Hülsenfrüchte) und deren Verarbeitungsprodukte (Konzentrate), Nebenprodukte der Fleischproduktion (Fleisch- und Blutmehle) und deren Derivate, aquatischen Tiere (Krill, Seeringelwürmer) und aquatische Pflanzen (Algen) sowie einzellige Mikroorganismen (Bakterien) in Betracht (Hasan 2001; New und Wijkström 2002; Berge et al. 2005; Glencross et al. 2007; Gatlin et al. 2007; Tacon et al. 2006; Moren et al. 2006).

Neben den alternativen Proteinquellen bestehen im Bereich des Fischernährung noch weitere Forschungsfelder, die sich u.a. mit der Optimierung von Fütterungsfrequenzen, Überwachung der Futteraufnahme, Wachstum und Futtereffizienz innerhalb verschiedener Wachstumsstadien der Fische befassen (Hasan 2001). Hierzu gehört auch die Ernährung von marinen Fischlarven, die derzeit auf Lebendfutter, wie z.B. Rädertierchen (Rotifera), angewiesen sind, welche zur Zeit als zu teuer angesehen werden und deren Qualität natürlichen Schwankungen unterliegt. Schwanken die Nährwerte bzw. Inhaltsstoffe des Futters, ist eine kontrollierte und effiziente Aufzucht der Fischlarven in der ersten Lebens- und Fütterungsphase nicht zu gewährleisten (Lee 2003; Hasan 2001). Ein Ziel ist es, durch die Entwicklung von künstlich hergestellten „Microdiets“, die speziell an die jeweilige Lebensphase angepasst werden, die Abhängigkeit vom Lebendfutter deutlich zu reduzieren und eine gleichbleibend hohe Qualität des Futters zu garantieren (Lee 2003; Lee und Donaldson 2001; Hasan 2001).

7. ÖKONOMIE, MARKETING UND QUALITÄTSMANAGEMENT DER AQUAKULTUR

In diesem Kapitel sollen die ökonomischen Forschungsgebiete näher dargestellt werden. Die Aquakultur kann dazu aus der gesamtwirtschaftlichen (Kap. 7.1) und aus der einzelbetrieblichen Perspektive (Kap. 7.2) betrachtet werden. Zudem spielen Qualitätsstandards (Kap. 7.3) eine wichtige Rolle. Das Marketing (Kap. 7.4) schließt die betriebswirtschaftlichen und volkswirtschaftlichen Auswirkungen in seinen Entscheidungen mit ein und berücksichtigt dabei ebenfalls das Qualitätsmanagement.

7.1. Volkswirtschaftliche Betrachtung

Shang (1985) unterteilt die ökonomische Betrachtung der Aquakultur in eine mikro- und eine makroökonomische Ebene. Die mikroökonomische Ebene bezieht sich auf die Betrachtung einer einzelnen Anlage wohingegen die makroökonomische Ebene eine gesamtwirtschaftliche Analyse umfasst. Die mikroökonomische Analyse beinhaltet das Management und zielt auf eine effizientere Produktion ab. Im Vordergrund steht hier die Betrachtung der Produktionskosten, die von vielfältigen Faktoren abhängig sind. Dies sind z.B. die lokalen Umwelt- und ökonomischen Bedingungen, Größe und Typ der Anlage, kultivierter Fischart usw., um nur einige zu nennen (Vgl. hierzu Kap. 7.2) (Shang 1985).

In der makroökonomischen Betrachtung werden die Auswirkungen der Aquakultur auf die Gesamtwirtschaft bestimmt, z.B. durch Einbeziehung der Externalitäten in einer sozialen Kosten-Nutzen-Analyse. Zu nennen sind hier bspw. die Verbesserung der Ernährungssituation sowie die Schaffung von Arbeitsplätzen aber auch die Konflikte um Land- und Wasserressourcen, Umweltbelastungen und die Auswirkungen auf vor- und nachgelagerte Märkte werden berücksichtigt (Shang 1985; Burbridge et al. 2001 und Neiland et al. 1991).

7.2. Betriebswirtschaftliche Betrachtung

Die Betrachtung der Aquakultur auf betrieblicher Ebene ist von zahlreichen, komplexen Entscheidungen im Rahmen der Planung, Steuerung und Kontrolle der Anlage geprägt. Die Entscheidungen können lang- und kurzfristiger Natur sein. Die langfristigen Entscheidungen betreffen z.B. neben der Wahl des Standortes, des Anlagentyps und der Anlagengröße auch die Marketingstrategie sowie die Wahl der zu produzierenden Fischarten. Kurzfristige Entscheidungen können bspw. über die Besatzdichte, die Fütterungsstrategien und über die Fließgeschwindigkeit, die Temperatur oder die Qualität des eingesetzten Wassers getroffen werden (Logan und Johnston 1992).

Das oberste Ziel eines Anlagenbetreibers sollte aus betriebswirtschaftlicher Sicht die Gewinnmaximierung sein. Hierzu ist es von besonderer Bedeutung, die einzelnen Komponenten einer Anlage auf dieses Ziel hin zu untersuchen und abzustimmen sowie die Interaktionen zwischen diesen zu ermitteln. So hat bspw. die Wasserqualität einen Einfluss auf die Höhe der Besatzdichte. Die Besatzdichte und die Fütterungsstrategie haben wiederum einen Einfluss auf das Wachstum der Fische. Ein schnelleres Wachstum führt zu einem schnelleren Erreichen der Schlachtreife und ermöglicht so eine im Vergleich höhere Produktion pro Zeiteinheit. Die Entscheidungen sollten allgemein die verschiedenen technisch-physikalischen und biologischen Faktoren sowie deren ökonomische Auswirkungen berücksichtigen. Von besonderer Bedeutung ist dabei auch die Produktionskostenanalyse, um zum einen die Produktion laufend zu kontrollieren und zum anderen optimale Verkaufs- bzw. Schlachtzeitpunkte zu bestimmen (Logan und Johnston 1992; Bjørndal et al. 2004; Ernst et al. 2000).

7.3. Qualitätsmanagement

Mit den Bedenken der Konsumenten über die Sicherheit von Lebensmitteln, u.a. hervorgerufen durch die BSE-Krise in den 90er Jahren, wurde das Qualitätsmanagement und die Nahrungsmittelsicherheit immer wichtiger (Chemnitz und Arning 2003). So kam es bspw. in den Jahren 1997 und 1998 aufgrund mangelhafter hygienischer Bedingungen zu verschärften Exportauflagen für Nilbarsch aus Kenia, Tansania und Uganda in die EU. Im Jahr 1999 verhängte die EU gar ein Exportverbot für Nilbarsche aus dem Viktoriasee, da im Fisch Pestizide gefunden wurden (Henson et al. 2000).

Um ein Mindestmaß an Qualität zu gewährleisten und um die Gesundheit der Verbraucher, Tiere und Pflanzen zu schützen, wurden von der WTO internationale Standards festgesetzt. Für den Nahrungsmittelbereich sind die Sanitären und Phytosanitären Maßnahmen (SPS - Agreement on the Application of Sanitary and Phytosanitary Measures) am bedeutendsten, die am 1. Januar 1995 in den WTO-Mitgliedsstaaten in Kraft traten. Das SPS-Abkommen nennt drei Institutionen, die zur Standardsetzung berechtigt sind. Für die Nahrungsmittelsicherheit ist die 1962 von der FAO und der WHO gegründete Codex Alimentarius Commission (CAC) verantwortlich. Falls die Mindeststandards nicht eingehalten werden, können die Produktion, der Handel und der Import der Waren verboten werden. Unter bestimmten Bedingungen können von jedem Staat nationale Standards eingeführt werden, die über den internationalen Standards liegen. Der Handel, die Anbieter, bzw. Interessengruppen haben zudem die Möglichkeit, sich privaten Standards zu verpflichten, die über dem gesetzlich vorgeschriebenen Niveau liegen, um qualitativ hochwertige Produkte zu erzeugen und zu verkaufen. Wenn

eine hohe Zahlungsbereitschaft der Konsumenten für eine hohe Qualität vorliegt, erscheinen private Standards aus Sicht der Anbieter lohnend (Chemnitz und Arning 2003). Qualität wird dann zum Wettbewerbsfaktor. Ein Beispiel für einen wirtschaftsinternen Standard, auch für die Aquakultur, ist der „Integrated Farm Assurance (IFA) Standard“ von Globalgap (www.globalgap.org) (Chemnitz und Arning 2003; Ababouch 2006).

Mittlerweile existieren in der EU und vielen anderen Ländern Standards und Regulierungen, die eingehalten werden müssen, um Lebensmittel zu produzieren und anschließend verkaufen zu können. Die Standards und Regulierungen betreffen die Produktion, die Verarbeitung, den Transport und den Verkauf von Lebensmitteln und sollen eine eindeutige Rückverfolgbarkeit gewährleisten. Die Standards für Europa sind in EU-Verordnungen verankert (z.B. EG-Verordnung Nr. 853/2004; 178/2002). Das SPS-Abkommen, die CAC und der wirtschaftsinterne IFS (International Food Standard) der WHO und der FAO bilden die Grundlage für die EG-Verordnung 853/2004 zum HACCP (Hazard Analysis Critical Control Point) (Josupeit et al. 2001).

HACCP zielt auf die Hygiene ab und dient im Bereich der Prozesskontrolle dazu, bedeutende gesundheitliche Gefahren durch Lebensmittel zu identifizieren und die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens zu bewerten. Somit sollen die Gefahren, die bei der Herstellung auftreten können vermieden oder auf ein akzeptables Maß reduziert werden. Mit Beginn des Jahres 2006 dürfen in der EU nur Lebensmittel gehandelt und eingeführt werden, die die HACCP-Richtlinien erfüllen (Chemnitz und Arning 2003; Ababouch 2006).

Standards gelten als nicht-tarifäre Handelshemmnisse und dienen dazu, die Informationskosten der Verbraucher zu senken, um die Informationsasymmetrie zwischen Produzenten, Verkäufern und Konsumenten auszugleichen. Auf Seite der Produzenten entstehen Kosten für die Anpassung an die Standards und zudem tragen sie Informationskosten, da sie sich ständig über neue Standards informieren müssen. Die Kosten für Kontrollen, Tests und Zertifizierungsverfahren werden vom öffentlichen Sektor getragen (Chemnitz und Arning 2003 und Ababouch 2006).

7.4. Marketing

Das Marketing dient als Schnittstelle zwischen den Erfordernissen des Marktes inkl. des Qualitätsmanagements (Kap. 7.3) und der Planung, Steuerung und Kontrolle des eigentlichen Produktionsprozesses (Kap. 7.2).

Wie bereits in Kap. 2 beschrieben, handelt es sich bei dem Markt für Aquakulturprodukte um den am schnellsten wachsenden Markt in der Lebensmittelbranche. Auf dem Markt herrscht starker Wettbewerb und es existieren einige Besonderheiten, die bei näheren Marktuntersuchungen berücksichtigt werden sollten. Zum einen stehen den Aquakulturprodukten enge Substitute aus Wildfängen der Fischereiflotte gegenüber (Asche et al. 2005 und Asche et al. 2001). Fleisch und Geflügel gelten ebenfalls als enge Substitute zu Fisch (Thiele 2001 und Davis et al. 2007). Zum anderen ist der Markt stark diversifiziert: Es werden viele verschiedene Fischarten angeboten; diese Artenvielfalt ist auf anderen Märkten, wie z.B. dem Fleischmarkt, nicht gegeben (de Silva 2001).

Die Entwicklungen der Märkte sollte bei der Aquakulturproduktion nicht aus dem Auge gelassen werden. In den letzten Jahren hat sich der Fischverkauf immer mehr zu den Supermarktketten verlagert. Die Aquakulturproduzenten müssen den Anforderungen der Handelsketten genügen und große Mengen in gleichbleibender Qualität und Größe produzieren. Desweiteren spielen auch der Verarbeitungsgrad und die Verpackungsform eine immer wichtigere Rolle (Josupeit et al. 2001).

8. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSBETRACHTUNG

Die wesentlichen Forschungsfelder in der Aquakultur sind die Züchtung und Reproduktion, das Haltungs- und Wassermanagement, die Fischgesundheit, die Fischernährung sowie die Forschungsbereiche Marketing, Qualitätsmanagement und Ökonomie der Aquakultur. Aus allen Bereichen kann man in Zukunft neue Forschungsergebnisse erwarten, die es ermöglichen, die Aquakulturproduktion zu verbessern, sie produktiver, kostengünstiger und marktgerechter zu gestalten. Der Forschungsbereich Züchtung und Reproduktion kann zur genetischen Verbesserung der in der Aquakultur gezüchteten Fische beitragen, im Bereich der Fischernährung führt eine optimierte Anpassung des Futters an die Lebensstadien der Fische zu Produktivitätssteigerungen. Dringend benötigt werden offenbar neue Futterformulierungen, die die Abhängigkeit von Fischmehl und -öl drastisch reduzieren. Verbesserungen im Gesundheitsmanagement sowie der Einsatz von Impfstoffen können die Fischverluste der Aquakultur deutlich reduzieren. Im Bereich des Haltungs- und Wassermanagements können die

Anlagen noch besser gestaltet und somit auf die Anforderungen der einzelnen Fischarten abgestimmt werden, um das Wachstum der Fische zu erhöhen. Fortschritte im Bereich des Marketings und des Qualitätsmanagements können zu einem erhöhten Absatz von Aquakulturfisch und besseren Abschätzungen über die Bedürfnisse der Konsumenten sowie der Marktentwicklung führen.

Tabelle 1 bietet einen Überblick über die AQ-F+E- Forschungsbereiche und deren Forschungsinhalte, die in diesem Working Paper behandelt wurden.

Um Handlungsempfehlungen für die öffentliche Investition in die oben beschriebenen Forschungsgebiete abgeben zu können, soll anhand einer Delphi-Studie die bisherige Relevanz sowie die zukünftige Bedeutung und Entwicklung der einzelnen Gebiete von Aquakulturrexperten beurteilt werden. In Kombination mit einer Marktanalyse sollen dann die Forschungsgebiete identifiziert werden, die den größten Wohlfahrtsgewinn erwarten lassen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass es sich bei der Aquakulturforschung um eine multidisziplinäre Forschung handelt. Zudem ist es eine junge Wissenschaft im Vergleich zu den seit langem etablierten Nutztierwissenschaften, die sich vor allem mit den klassischen Nutztieren Rind, Schwein und Huhn beschäftigen (EU 2007). Zudem sorgen viele verschiedene Fischarten, mehrere Anlagentypen, unterschiedliche klimatische Bedingungen für ein weites, aufgabenreiches und diversifiziertes Forschungsfeld. Unter Beachtung der stagnierenden Fischereierträge und der wachsenden Weltbevölkerung könnte die Aquakultur in den kommenden Jahren noch stark an Bedeutung gewinnen.

Tabelle 1: Überblick der AQ-F+E-Bereiche und -Inhalte

AQ-F+E-Bereiche	AQ-F+E-Inhalte
Züchtung und Reproduktion	<ul style="list-style-type: none"> - Entwicklung und Verbesserung von Zuchtverfahren zur genetischen Verbesserung von Fischen - weitere Erforschung der Reproduktionsbiologie - Zuchtprogramme
Haltungs- und Wassermanagement	<ul style="list-style-type: none"> - Optimierung der Haltungsbedingungen zur Produktivitätssteigerung in den verschiedenen Produktionssystemen - Entwicklung und Verbesserung von mechanischen und biologischen Filtern - Fütterungstechnologien und –strategien - Nährstoffausträge - Wasserdesinfektion durch Ozon/UV - Begasungs- und Entgasungssysteme - Form und Material der Anlagen - Besatzdichten
Fischgesundheit	<ul style="list-style-type: none"> - Behandlung und Vorbeugung von Krankheiten - Hygienestandards - Entwicklung von Impfstoffen - Früherkennungssysteme und Untersuchungsmethoden zur Bestimmung von Krankheiten
Fischernahrung	<ul style="list-style-type: none"> - Reduktion des Fischmehl und –ölbedarfs - Substitution durch alternative Rohstoffe - Neue Futtermittelformulierungen - Ernährungsphysiologie der Fische - Futterumwandlungsverhältnis verbessern - Nährstoffausträge - Entwicklung von „Microdiets“ für Fischlarven
Ökonomie, Marketing und Qualitätsmanagement der Aquakultur	<ul style="list-style-type: none"> - Marktanalysen - Einflüsse der Globalisierung - Sozioökonomische Einflüsse der Aquakultur - Rückverfolgbarkeit - Supply-Chain-Management - Betriebswirtschaftliche Führung von Aquakulturanlagen - Marketing - Qualitätsmanagement

Quelle: eigene Darstellung

LITERATURVERZEICHNIS

Ababouch, Lahsen (2006). Assuring fish safety and quality in international fish trade. *Marine Pollution Bulletin* (53) : 561 - 568.

Asche, Frank; Bjørndal, Trond und Gordon, Daniel V. (2005). Demand structure for fish. SNF Working Paper No. 37/05

Asche, Frank; Bjørndal, Trond und Young, James A. (2001). Market Interactions for Aquaculture Products. Discussion Paper No. 1/2001, Centre for Fisheries Economics

Berge, Gerd Marit; Baeverfjord, Grete; Skrede, Anders und Storebakken, Trond (2005). Bacterial protein grown on natural gas as protein source in diets for Atlantic salmon, *Salmo salar*, in saltwater. *Aquaculture* 244 : 233 - 240.

Bergleiter, Stefan; Pätzold, Jörg; Stamer, Andreas und Teufel, Jennifer (2005). Ökologische Fischproduktion: Struktur, Entwicklung, Probleme, politischer Handlungsbedarf. <<http://orgprints.org/4200/01/4200-02OE314-ble-naturland-2004-status-fisch.pdf>>.

Bjørndal, Trond; Lane, Daniel E. und Weintraub, Andrés (2004). Operational research models and the management of fisheries and aquaculture: A review. *European Journal of Operational Research* 156 : 533 - 540.

Bomsdorf, Clemens (2008). Forellen aus dem Schwimmbad. <<http://www.wiwo.de/finanzen/forellen-aus-dem-schwimmbad-269585/>> [18.03.2008].

Burbridge, P.; Hendrick, V.; Roth, E. und Rosenthal, H. (2001). Social and economic policy issues relevant to marine aquaculture. *Journal of Applied Ichthyology* 17 : 194 - 206.

Chemnitz, Christine und Arning, Ralf (2003). Nahrungsmittelstandards. <<http://www.germanwatch.org/tw/sps03.pdf>> [23.12.2008].

Correa; Angela (2001). Aquaculture: Ocean-friendly, market-savvy wave to the future. <<http://www.research.vt.edu/resmag/resmag2001/aquaculture.html>> [23.12.2008].

Crab, Roselien; Avnimelech, Yoram; Defoirdt, Tom; Bossier, Peter und Verstraete, Willy (2007). Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture* 270 : 1 - 14.

Davis, Christopher; Yen, Steven und Lin, Biing-Hwan(2007).Consumer Demand for meat Cuts and Seafood.

de Silva, Sena S. (2001). A Global Perspective of Aquaculture in the new Millennium. In: Subasinghe, R.; Bueno, P.; Phillips, M.; Hough, C.; McGladdery, S. und Arthur, J. (Hrsg.). *Aquaculture in the Third Millennium. Proceedings of the Conference on Aquaculture in the Third Millennium, Bangkok, Thailand, 20-25 February 2000.* NACA, Bangkok und FAO, Rom, S.431 - 459.

Delgado, Christopher L.; Wada, Nikolas; Rosegrant, Mark W.; Meijer, Siet und Ahmed, Mahfuzuddin(2003).Fish to 2020. Washington, Penang,International Food Policy Research Institute; World Fish Center.

Dunham, Rex A.; Majumdar, Kshitish; Hallerman, Eric; Bartley, Devin; Mair, Graham; Hualata, Gideon; Liu, Zhanjiang; Pongthana, Nuanmanee; Bakos, Janos; Penman, David; Gupta, Modadugu; Rothlisberg, Peter und Hörstgen-Schwark, Gabriele (2001). Review of the Status of Aquaculture Genetics. In: Subasinghe, R.; Bueno, P.; Phillips, M.; Hough, C.; McGladdery, S. und Arthur, J. (Hrsg.). *Aquaculture in the Third Millennium. Proceedings of the Conference on Aquaculture in the Third Millennium, Bangkok, Thailand, 20-25 February 2000.* NACA, Bangkok und FAO, Rom, S.137 - 166.

Eding, E. H.; Kamstra, A.; Verreth, J. A. J.; Huisman, E. A. und Klapwijk, A. (2006). Design and operation of nitrifying trickling filters in recirculating aquaculture: A review. *Aquacultural Engineering* 34 : 234-260.

Ernst, Douglas H.; Bolte, John P. und Nath, Shree S. (2000). AquaFarm: simulation and decision support for aquaculture facility design and management planning. *Aquacultural Engineering* 23 : 121 - 179.

EU (2007). Möglichkeiten für die Entwicklung der Aquakultur in der Gemeinschaft.
<http://ec.europa.eu/fisheries/cfp/governance/consultations/consultation100507_de.pdf>.
[17.12.2008].

Europäische Kommission (2008). Fakten und Zahlen über die GFP. Luxemburg, Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften.

Eurostat (2008). Aquakulturerzeugung, insgesamt (1000 t Lebendgewicht).
<<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=de&pcode=tag00075>> [29.09.2008].

FAO (2007). The State of World Fisheries and Aquaculture 2006. Rom, Food and Agriculture Organisation of the United Nations.

Funge-Smith, Simon und Phillips, Michael J. (2001). Aquaculture Systems and Species. In: Subasinghe, R.; Bueno, P.; Phillips, M.; Hough, C.; McGladdery, S. und Arthur, J. (Hrsg.). Aquaculture in the Third Millennium. Proceedings of the Conference on Aquaculture in the Third Millennium, Bangkok, Thailand, 20-25 February 2000. NACA, Bangkok und FAO, Rom, S.129 - 135.

Gatlin, Delbert M.; Barrows, Frederic T.; Brown, Paul; Dabrowski, Konrad; Gaylord, T Gibson; Hardy, Ronald W.; Herman, Eliot; Hu, Gongshe; Krogdahl, Ashild; Nelson, Richard; Overturf, Kenneth; Rust, Michael; Sealey, Wendy; Skonberg, Denise; Souza, Edward J.; Stone, David; Wilson, Rich und Wurtele, Eve (2007). Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *Aquaculture Research* 38 : 551 - 579.

Glencross, B. D.; Booth, M. und Allan, G.L. (2007). A feed is only as good as its ingredients - a review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. *Aquaculture Nutrition* 13 : 17 - 34.

Gutierrez-Wing, Maria Teresa und Malone, Ronald F. (2006). Biological filters in aquaculture: Trend and research directions for freshwater and marine applications. *Aquacultural Engineering* 34 : 163 - 171.

Guttormsen, Atle G. und Forsberg, Odd Inge (2004). The Value of Information in Salmon farming Harvesting the Right Fish to the Right Time. Discussion Paper Nr D30/2004 - Agricultural University of Norway, Ås.

<<http://www.umb.no/ior/publikasjoner/DP30-04.pdf>>

Hallerman, Eric M.; McLean, Ewen und Fleming, Ian A. (2007). Effects of growth hormone transgenes on the behavior and welfare of aquaculture fishes: A review identifying research needs. *Applied Animal Behaviour Science* 104 : 265 - 294.

Hasan, M.R. (2001). Nutrition and Feeding for Sustainable Aquaculture Development in the Third Millennium. In: Subasinghe, R.; Bueno, P.; Phillips, M.; Hough, C.; McGladdery, S. und Arthur, J. (Hrsg.). *Aquaculture in the Third Millennium. Proceedings of the Conference on Aquaculture in the Third Millennium, Bangkok, Thailand, 20-25 February 2000*. NACA, Bangkok und FAO, Rom, S.193 - 219.

Henson, Spencer; Brouder, Anne-Marie und Mitullah, Winnie (2000). Food safety requirements and food exports from developing countries: The case of fish exports from Kenya to the European Union. *American Journal of Agricultural Economics* 82 (5) : 1159 - 1169.

Hew, Choy L. und Fletcher, Garth L. (2001). The role of aquatic biotechnology in aquaculture. *Aquaculture* 197 : 191 - 204.

Hishamunda, Nathanael und Subasinghe, Rohana P. (2003). *Aquaculture Development in China – The role of public sector policies*. FAO Fisheries Technical Paper 427. Rom, FAO.

Hulata, G. (2001). Genetic manipulations in aquaculture: a review of stock improvement by classical and modern technologies. *Genetica* 111 : 155 - 173.

Josupeit, Helga; Lem, Audun und Lupin, Hector (2001). *Aquaculture Products: Quality, Safety and Trade*. In: Subasinghe, R.; Bueno, P.; Phillips, M.; Hough, C.; McGladdery, S. und Arthur, J. (Hrsg.). *Aquaculture in the Third Millennium. Proceedings of the Conference on Aquaculture in the Third Millennium, Bangkok, Thailand, 20-25 February 2000*. NACA, Bangkok und FAO, Rom, S.249 - 257.

Kazmierczak, Richard F. und Caffey, Fex H. (1996). The Bioeconomics of Recirculating Aquaculture Systems.

<http://agecon.lib.umn.edu/cgi-bin/pdf_view.pl?paperid=157&ftype=.pdf>.

Labatut, Rodrigo A.; Ebeling, James M.; Bhaskaran, Rajesh und Timmons, Michael B. (2007). Hydrodynamics of a Large-scale Mixed-Cell Raceway (MCR): Experimental studies. *Aquacultural Engineering* 37 : 132 - 143.

Lee, Cheng-Sheng (2003). Biotechnological advances in finfish hatchery production: a review. *Aquaculture* 227 : 439 - 458.

Lee, Cheng-Sheng und Donaldson, Edward M. (2001). General discussion on "Reproductive biotechnology in finfish aquaculture". *Aquaculture* 197 : 303 - 320.

Lekang, Odd-Ivar und Kleppe, Helge (2000). Efficiency of nitrification in trickling filters using different filter media. *Aquacultural Engineering* 21 : 181 - 199.

Liao, I Chiu; Su, Huei Meei und Chang, Emily Y. (2001). Techniques in finfish larviculture in Taiwan. *Aquaculture* 200 : 1 - 31.

Logan, Samuel H. und Johnston, Warren E. (1992). Economics of commercial trout production. *Aquaculture* (100) : 25 - 46.

Melamed, Philippa; Gong, Zhiyuan; Fletcher, Garth und Hew, Choy L. (2002). The potential impact of modern biotechnology on fish aquaculture. *Aquaculture* 204 : 255 - 269.

Moren, M.; Suontama, J.; Hemre, G.-I.; Karlsen, Ö.; Olsen, R. E.; Mundheim, H. und Julshamn, K. (2006). Element concentrations in meals from krill and amphipods, - Possible alternative protein sources in complete diets for farmed fish. *Aquaculture* 261 : 174 - 181.

Myhr, Anne Ingeborg und Dalmo, Roy Ambli (2005). Introduction of genetic engineering in aquaculture: ecological and ethical implications for science and governance. *Aquaculture* 250 : 542 - 554.

Naylor, Rosamond L.; Goldberg, Rebecca J.; Mooney, Harold; Beveridge, Malcolm C. M.; Clay, Jason; Folke, Carl; Kautsky, Nils; Lubchenco, Jane; Primavera, Jurgenne H und Williams, Meryl (1998). Nature's Subsidies to Shrimp and Salmon Farming. *Science* (282) : 883 - 884.

Naylor, Rosamond L.; Goldberg, Rebecca J.; Primavera, Jurgenne H; Kautsky, Nils; Beveridge, Malcolm C. M.; Clay, Jason; Folke, Carl; Lubchenco, Jane; Mooney, Harold und Troell, Max (2000). Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature* 405 : 1017 - 1024.

Neiland, A. E.; Shaw, S. A. und Bailly, D. (1991). The social and economic impact of aquaculture: a European review. In: Gowen, R. J.; DePauw, N. und Joyce, J. (Hrsg.). *Aquaculture and the natural environment*. Gent, Belgium, S.469 - 482.

New, Michael B. und Wijkström, Ulf N. (2002). Use of fishmeal and fish oil in aquafeeds. FAO, Rom.

NIFES - National Institute of Nutritional and Seafood Research (2003). Facts about farmed norwegian salmon.

<http://coreweb.nhosp.no/fhl.no/html/files/Facts_about_farmed_salmon_NIFES.pdf>.

Rees, Jürgen (2008). Fette Beute bei der Fischzucht. <<http://www.wiwo.de/technik/fette-beute-bei-der-fischzucht-269571/>> [18.03.2008].

Saliling, Willie Jones B.; Westerman, Philip W. und Losordo, Thomas M. (2007). Wood chips and wheat straw as alternative biofilter media for denitrification reactors treating aquaculture and other wastewater with high nitrate concentrations. *Aquacultural Engineering* 37 : 222 - 233.

Schulz, Carsten; Herbst, Ruprecht; Langensiepen, Matthias und Ulrichs, Christian (2005). Herausforderungen einer umweltgerechten Aquakultur. *Humboldt Spektrum* 1-2005 : 42 - 48.

Shang, Yung C. (1985). Aquaculture Economics: An Overview. *GeoJournal* 10 (3) : 299 - 305.

Shang, Yung C. (1986). Research on Aquaculture Economics: a Review. *Aquacultural Engineering* 5 : 103 - 108.

Sharrer, Mark J. und Summerfelt, Steven T. (2007). Ozonation followed by ultraviolet irradiation provides effective bacteria inactivation in a freshwater recirculating system. *Aquacultural Engineering* 37 : 180 - 191.

Shields, R. J. (2001). Larviculture of marine finfish in Europe. *Aquaculture* 200 : 55 - 88.

Subasinghe, Rohana P.; Bondad-Reantaso, Melba G. und McGladdery, Sharon e. (2001). Aquaculture Development, Health and Wealth. In: Subasinghe, R.; Bueno, P.; Phillips, M.; Hough, C.; McGladdery, S. und Arthur, J. (Hrsg.). *Aquaculture in the Third Millennium. Proceedings of the Conference on Aquaculture in the Third Millennium, Bangkok, Thailand, 20-25 February 2000*. NACA, Bangkok und FAO, Rom, S.167 - 191.

Subasinghe, Rohana P (2006). Is aquaculture at its turning point? *FAO Aquaculture Newsletter* Nr. 35 : 7 - 9; Juni 2006. FAO, Rom.

Summerfelt, Steven T. (2003). Ozonation and UV irradiation - an introduction and examples of current applications. *Aquacultural Engineering* 28 : 21 - 36.

Tacon, Albert G.J.; Hasan, Mohammad R. und Subasinghe, Rohana P.(2006).Use of fishery resources as feed inputs to aquaculture development: Trends and policy implications.Rom,Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Tango, Martin S. und Gagnon, Graham A. (2003). Impact of ozonation on water quality in marine recirculation systems. *Aquacultural Engineering* 29 : 125 - 137.

Thiele, Silke (2001). Ausgaben- und Preiselastizitäten der Nahrungsmittelnachfrage auf Basis von Querschnittsdaten: Eine Systemschätzung für die Bundesrepublik Deutschland. *Agrarwirtschaft* 50 (2) : 108 - 115.

Timmons, Michael B.; Ebeling, James M.; Wheaton, Fred W.; Summerfelt, Steven T. und Vinci, Brian J.(2002).*Recirculating Aquaculture Systems*. Ithaca, Cayuga Aqua Ventures.

Uthoff, Dieter (1999). Seefischerei und marine Aquakultur - Wandel und Trends in der Nutzung des Nahrungspotentials der Meere. Petermanns Geographische Mitteilungen 143 : 58 - 73.

van Rijn, Jaap; Tal, Yossi und Schreier, Harold J. (2006). Denitrification in recirculating systems: Theory and applications. Aquacultural Engineering 34 : 364 - 376.

Varadi, Laszlo; Szucs, Istvan; Pekar, Ferenc; Blokhin, Sergey und Csavas, Imre (2001). Aquaculture Development Trends in Europe. In: Subasinghe, R.; Bueno, P.; Phillips, M.; Hough, C.; McGladdery, S. und Arthur, J. (Hrsg.). Aquaculture in the Third Millennium. Proceedings of the Conference on Aquaculture in the Third Millennium, Bangkok, Thailand 20-25 February 2000. NACA, Bangkok und FAO, Rom, S.397 - 416.

Wandtner, Reinhard (2007). Landwirtschaft im Wasser. FAZ.

<<http://www.faz.net/s/RubEC1ACFE1EE274C81BCD3621EF555C83C/Doc~EABCB0A73F5DD4EF3A0B6AC95CB8B9A1B~ATpl~Ecommon~Scontent.html>> [05.08.2008].

Wilton, Sean (2001). Selecting material for hatchery tanks.

<<http://www.praqua.com/pdf/NB/2001/SeptOct01.pdf>> [17.12.2008].