

Gutachten zum Thema „Strategien für eine nachhaltige Fischnutzung unter besonderer Berücksichtigung von marinen Aquakultursystemen“

**Forschungsprojekt gefördert durch die
Stiftung Zukunftserbe e.V.**

Oktober 2005, Öko-Institut e.V., Institut für angewandte Ökologie

Autorinnen:

Dr. Jennifer Teufel; Bettina Ott

Öko-Institut e.V., Freiburg

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Umweltprobleme von marinen Aquakulturbetrieben	6
3	Produktion und Verwendung von Fischfutter: Status quo und derzeitige Alternativen	18
4	Internationaler Sachstand zum Thema „Nachhaltige Fischproduktion in Aquakulturen“	44
4.1	Politische Institutionen	44
4.2	Internationale wissenschaftliche Organisationen	51
4.3	Nichtregierungsorganisationen und Industriverbände	52
4.1	Umweltsiegel im Bereich Fischproduktion und –handel	55
4.1.1	Zuchtfisch	55
4.1.2	Fisch und Fischprodukte aus mariner Fischerei	57
5	Steigerung der Aquakulturproduktion: potenzielle Auswirkungen auf marine Ökosysteme	66
6	Forschungs- und Handlungsbedarf	68
7	Zusammenfassung	70
8	Literatur	71
9	Tabellen- und Abbildungsverzeichnis	80

1 Einleitung

Weltweit betrachtet stagnieren die marinen Fischfangerträge¹ – eine wichtige Proteinquelle für die menschliche Ernährung. In den letzten Jahrzehnten hat außerdem in allen marinen Fischereiregionen eine drastische Veränderung in der Arten- und Größenzusammensetzung der angelandeten Erträge stattgefunden. Machten Grundfische wie Kabeljau, Heilbutt, Schellfisch, Seehecht, Flunder und Sonnenbarsch in den 50er und 70er Jahren noch 26% der gesamten weltweiten marinen Fischereierträge aus, so sank ihr Anteil 2002 auf 15% (FAO 2005). Dafür stieg der Anteil an pelagischen Arten. Im nordöstlichen Atlantik wurden die sinkenden Erträge des Atlantischen Heilbutts (*Gadus morhua*) zum Beispiel durch steigende Erträge von Blauem Wittling (*Micromesistius poutassou*)² und Atlantischem Hering (*Clupea harengus*) ausgeglichen (Frid et al. 2003).

Die Praxis der marinen Fischerei der letzten Jahrzehnte hat außerdem dazu geführt, dass die mittlere Größe der angelandeten Fische in vielen Regionen in den letzten vierzig Jahren um einen Meter zurückging. Dieses Phänomen ist gekoppelt mit der Veränderung der Artenzusammensetzung der angelandeten Fische. Die Erträge an ausgewachsenen Grundfischen, die sich unter anderem von kleineren pelagisch lebenden Arten ernähren, gehen zurück (vgl. auch Hutchings & Baum 2005, Lotze & Milewski 2004). Sie werden ersetzt durch die Befischung der kleineren pelagischen Arten, die sich von Plankton ernähren. Dieses als „Fishing down the food web“ bezeichnete Phänomen wurde schon 1998 von Pauly et al. (1998) beschrieben und konnte vor kurzem erstmals auch in marinen west-afrikanischen Ökosystemen nachgewiesen werden (Laurans et al. 2004). Eine neuere Arbeit von Pauly & Palomares (2005) zeigt, dass dieses Phänomen viel weiter verbreitet ist als bisher angenommen.

Nach Angaben der FAO (2005) werden schätzungsweise 52% der weltweit genutzten Fischbestände vollständig ausgebeutet, so dass hier keine Steigerung der Erträge erwartet werden kann. 17% der weltweiten Fischbestände werden stärker befischt als es zum Erhalt einer gewissen Biomasse, die die Reproduktion des Bestandes erlaubt, empfohlen wird. 7%

¹ Es wird angenommen, dass eine Reihe von Ländern, vor allem China, in den letzten Jahren höhere Fangmengen angegeben haben als tatsächlich angelandet wurden (Pauly & Watson 2003, FAO 2002). Das heißt unter Umständen verschleiern diese falschen Angaben einen Rückgang der weltweiten marinen Fangmengen.

² Auch der Blaue Wittling wird nach Angaben der ICES (Frid et al. 2003) stärker befischt als es zum Erhalt der Bestandes empfohlen wird.

1 Einleitung

sind stark in ihrer Biomasse dezimiert und 1% sind dabei sich in ihren Bestandeszahlen zu erholen. Das heißt bei 25% der weltweit genutzten Fischbestände muss sogar damit gerechnet werden, dass die Erträge sinken.

Angesichts stagnierender bzw. in Zukunft vermutlich sinkender Fischfangerträge der marinen Fischerei setzen eine Reihe von Regierungen, Institutionen (zum Beispiel die Weltbank oder der Internationale Währungsfond), Forschungsgruppen, sowie einige Firmen³ ihre Hoffnung darauf, den steigenden Fischbedarf in Zukunft durch einen Ausbau der Aufzucht von Fischen in Aquakultursystemen zu decken (Bubnoff 2005, Marra 2005, Brugère & Ridler 2004, FAO 2004a, Schmidt-Puckhaber 2004, Perez et al. 2003, Subasinghe 2003, FAO 2002, De Silva 2001, Jia et al. 2001).

Die weltweite Produktion von Fisch, Schalentieren und Algen in Aquakulturen ist seit den 70er Jahren drastisch angestiegen. Betrachtet man die gesamte Aquakulturproduktion (das heißt sowohl die Produktion in marinen Aquakulturanlagen als auch die Aquakulturproduktion im Binnenland und Brackwasserbereich), so hat die Produktionsmenge von 1970 bis zum Jahr 2000 jährlich im Durchschnitt um 8,9% zugenommen. Die durchschnittliche Zuwachsraten im gleichen Zeitraum im Fischereibereich lagen hingegen bei 1,4% und in terrestrischen Fleischproduktionssystemen bei 2,8% (FAO 2003a). Im Jahre 2002 wurden 29,9% des weltweiten Angebotes an Fisch, Krebsen und Muscheln in Aquakulturbetrieben produziert – das heißt rund 39,8 Mio t (FAO 2004a). Über 91% der gesamten Aquakulturproduktionsmenge (die Produktion von Algen mit eingerechnet) wurde im asiatischen Raum produziert, wobei 71% der gesamten Produktionsmenge in China erzeugt wurde⁴. Es gibt zwar Zweifel darüber, ob die von China angegebenen Produktionsmengen korrekt sind, es steht jedoch außerhalb jeglicher Diskussion, dass China bei weitem führend in der Aquakulturproduktion ist. China hat auch am meisten zum weltweiten Zuwachs in der Gesamt-Aquakulturproduktion beigetragen. Ohne China würde die durchschnittliche Zuwachsraten der weltweiten Aquakulturproduktionsmenge von 1970-2000 nur 5,6% anstatt 8,9% betragen (FAO 2003a).

Der größte Anteil der weltweiten Aquakulturproduktion entfällt auf die Produktion von Karpfen und anderen Cypriniden (2002 41,9% der Gesamtproduktionsmenge), die zu den herbi- und omnivoren Fischarten gehören und im Süßwasser leben. Mit rund 37% der

³ Die Firma Net Systems (Bainbridge Island, Washington, USA) verkauft und entwickelt spezielle Ausrüstung für den Betrieb von Aquakultursystemen auf hoher See (Mann, 2004).

⁴ Im Jahr 2002 betrug die weltweite Algenproduktion 11,6 Mio t, davon stammten 8,8 Mio t aus China.

1 Einleitung

Gesamtproduktionsmenge nehmen Muscheln (diverse Arten, inklusive Austern) den zweiten Platz unter den im Jahr 2002 produzierten Aquakulturarten ein (FAO 2004a).

Betrachtet man im Rahmen der weltweiten Aquakulturproduktion nur die Fischproduktion, so fällt auf, dass in den Entwicklungsländern 93% der produzierten Fischmenge durch die Produktion von herbi- und omnivoren bzw. filtrierenden Fischen bereit gestellt werden. In den entwickelten Ländern entfallen hingegen 73,8% der gesamten Fischproduktion auf die Produktion von carnivoren Arten (FAO 2003a).

Anfang der 80er Jahre gewann die Fisch- und Garnelenproduktion in marinen Aquakultursystemen immer mehr an Bedeutung⁵. Nach wie vor ist der Atlantische Lachs (*Salmo salar*) mit Abstand die Hauptfischart, die in marinen Aquakultur-Systemen produziert wird. Im Jahre 2002 wurden weltweit etwas mehr als 1 Mio t produziert: über 70 % davon in Europa (Norwegen, UK, Irland, Faroer Inseln), rund 25 % in Chile, die restlichen fünf Prozent in Kanada. Norwegen ist mit Abstand der führende Produzent von Atlantischem Lachs, ca. die Hälfte der weltweiten Aquakultur-Lachsproduktion erfolgt in Norwegen. Als weitere mengenmäßig bedeutende Fischarten in der marinen Aquakultur-Produktion sind die Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*), der Pazifische Lachs (*Oncorhynchus kisutch*) und die Meerforelle (*Salmo trutta trutta*) zu nennen. Alle drei Arten gehören wie der Atlantische Lachs zu den Salmoniden und werden ebenfalls vor allem in Chile bzw. Norwegen produziert⁶.

⁵ In marinen Aquakultur-Systemen werden derzeit verschiedene Fisch-, Muschel-, Krebs- und Garnelen-Arten, sowie einige marine Pflanzenarten zu Nahrungszwecken kultiviert. Nach Angaben der FAO (2002) werden derzeit rund 15 % der marinen Produktion nicht in natürlichen Lebensräumen gefangen, sondern in Aquakulturen produziert.

⁶ Als Arten mit steigenden Produktionszahlen sind die Japanischen Seriola (*Seriola quinqueradiata*) in Japan, die Goldbrasse (*Sparus auratus*) in Griechenland und in Spanien, der Wolfsbarsch (*Dicentrarchus labrax*) in der Türkei und in Griechenland, eine Flunder-Art mit dem englischen Namen „bastard halibut“ (*Paralichthys olivaceus*) in Korea und Milchfische (Fische aus der Familie der *Chanidae*) auf den Philippinen zu nennen. Derzeit finden auch Versuche statt, die bedrohten und begehrten Speisefische Atlantischer Heilbutt (*Hippoglossus hippoglossus*), Steinbutt (*Psetta maximus*) und Atlantischer Kabeljau (*Gadus morhua*) für kommerzielle Zwecke in Aquakulturen zu züchten (Quellen: ICES 2005, FAO/Fishstat Plus, FAO 2004, Europäische Kommission 2002).

2 Umweltprobleme von marinen Aquakulturbetrieben

Generelle Probleme – bislang erreichte Verbesserungen

Schon in den 80er Jahren zeichnete sich ab, dass die Fisch- und Garnelenproduktion in marinen Aquakultursystemen mit einer Reihe von negativen Umweltauswirkungen verbunden ist⁷. Umfassende aktuelle Zusammenfassungen der Umweltprobleme des Betriebs von marinen Aquakulturbetrieben finden sich bei Goldberg & Naylor (2005), Pillay (2005), Frid et al. (2003), Weber (2003), Fernandes et al. (2002) und Pearson & Black (2001).

Folgende generelle Umweltprobleme können bei der Produktion von Fisch (oder Garnelen und anderen Krustentieren) in marinen Aquakultur-Systemen auftreten:

- **Eutrophierung** der Gewässer durch organisches Material in Form von überschüssigem Futter und Fäkalien. Hieraus folgt vor allem eine starke Belastung der Gewässer mit Phosphat und Stickstoff (Goldberg & Naylor 2005, Nash 2001). Vor allem in Buchten oder Gewässerabschnitten mit geringer Wasserzirkulation kann diese Umweltbelastung größere Auswirkungen auf die natürlichen Lebensgemeinschaften (vor allem auf diejenigen am Grund des Gewässers) nach sich ziehen. Durch die veränderten Lebensbedingungen kommt es zu einer Veränderung in der Artenzusammensetzung des Gewässerökosystems. Darüber hinaus ist die Anreicherung von organischen Ablagerungen unter Aquakulturanlagen oder in deren Umfeld mit einer erhöhten Sauerstoffzehrung durch den mikrobiellen Abbau dieser Ablagerungen verbunden. In Extremfällen werden die Sauerstoffvorräte vollständig aufgebraucht und der weitere Abbau von organischem Material findet im anaeroben Milieu statt, der mit der Freisetzung von sogenannten Faulgasen wie z.B. Methan und Schwefelwasserstoff verbunden ist.

⁷ Obwohl die Produktion von Muscheln insgesamt betrachtet weniger Umweltprobleme nach sich zieht als die Produktion von marinen carnivoren Fischarten oder Garnelen, gibt es auch hier einige negative Umweltauswirkungen. Kommen zum Beispiel bei der Saatmuschelbefischung Dredgen (Dredgen = Netze, die an ein Metallgerüst befestigt werden und dem Meeresboden aufliegen) zum Einsatz, so wird die Bodenfauna geschädigt. Außerdem können bei der Anlage von künstlichen Muschelbänken gefährdete Arten verdrängt werden (Ruth 1997; Saier & Buschbaum 2003).

2 Umweltprobleme von marinen Aquakulturbetrieben

- Belastung der menschlichen Gesundheit und der Umwelt durch den Einsatz von **Antibiotika, Desinfektionsmitteln, Parasitenbekämpfungsmitteln⁸** und **Pestiziden** in der Fischeaufzucht. Die unbeabsichtigte Aufnahme von Antibiotika durch den Verzehr von belastetem Fisch oder Fleisch kann direkt in Form von verschiedenen Krankheitsbildern Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben. Außerdem besteht das Risiko, dass sich antibiotikaresistente Bakterienstämme entwickeln, die wiederum eine Bedrohung für die Gesundheit darstellen (FAO 2002). So hat sich unter anderem gezeigt, dass der Einsatz von Antibiotika in Aquakulturbetrieben die Entwicklung von antibiotikaresistenten Bakterien nach sich ziehen kann (Alderman & Hastings 1998). Durch den Mechanismus des horizontalen Gentransfer ist eine Übertragung dieser **Antibiotikaresistenzen** auch auf Bakterien möglich, die für den Menschen pathogen wirken können. Außerdem werden durch die Anreicherung von Antibiotika in den Sedimenten mikrobielle Abbauprozesse beeinflusst. Zum Teil konnte eine Verlangsamung der Abbauprozesse festgestellt werden (ICES 2002, Schmidt et al. 2001, Rhodes et al. 2000, Hering 1999, GESAMP 1991). Pestizide werden vor allem beim Bau und der Errichtung von Aufzuchtbecken, Dämmen und Schleusen und bei der Herstellung von Netzen für Netzkäfiganlagen eingesetzt. Dabei handelt es sich um Imprägnierungsmittel, sogenannte Antifouling-Mittel, und Bewuchshemmer (z.B. Tributyltin⁹, Kupfersulfat oder bestimmte Fungizide). Diese stellen eine Gefährdung für die Umwelt, die Zuchttiere selbst und die menschliche Gesundheit dar. Die Rückstände dieser Antifouling-Mittel wirken zum Teil hormonell oder weisen hohe Schwermetallkonzentrationen auf (WBGU 2001; Hering 1999). Zur Bekämpfung von Parasiten werden in der Regel Chemikalienbäder¹⁰ angewandt. Das heißt die eingesetzte Chemikalie wird nach der Behandlung in das offene Meer entsorgt. Es ist bekannt, dass die eingesetzten Chemikalien eine Gefahr für bestimmte Organismengruppen darstellen. Das Ausmaß der Belastung für die Umwelt hängt jedoch zum einen von der eingesetzten

⁸ Eine Liste der Chemikalien, die in marinen Aquakultursystemen zur Aufzucht von Fischen eingesetzt werden, wurde von der Arbeitsgruppe zu Umweltproblemen der Marikultur 2002 zusammengestellt (ICES 2002). Eine Liste der Chemikalien, die speziell zur Bekämpfung von Lachslausbefällen eingesetzt werden, mit einer Beschreibung der Umweltrisiken dieser Chemikalien wurde von Haya et al. (2004) zusammengestellt.

⁹ Tributyltin (TBT) wurde ursprünglich als unbedenklich eingeschätzt, nach etwa zehnjähriger Anwendung konnten bei vielen marinen Organismen Schädigungen und hohe Gewebepersistenz festgestellt werden (Pillay 2005, Hering 1999).

¹⁰ Um die Netzkäfige wird eine wasserundurchlässige Plane gehüllt, so dass die eingesetzte Chemikalie während der Behandlungsdauer nicht weggespült wird. Eine Übersicht über die derzeit in Europa und Nordamerika zugelassenen Chemikalien zur Bekämpfung von Parasiten in der Lachszucht findet sich in Haya et al. (2005) und in ICES (2004b). Mittlerweile gibt es auch Bekämpfungsmittel, die mit dem Futter verabreicht werden, diese können aber ebenfalls durch Futterreste oder Fäkalien in die Umwelt gelangen (Haya et al. 2005, ICES 2004b).

2 Umweltprobleme von marinen Aquakulturbetrieben

Chemikalie ab, zum anderen aber auch stark von den jeweiligen Umweltbedingungen – unter anderem von den Strömungseigenschaften, den Gezeiten, Gewässertiefe, etc. Mittlerweile ist auch erwiesen, dass bestimmte Parasiten (zum Beispiel die Lachslaus) Resistenzen gegen die eingesetzten Bekämpfungsmittel entwickeln können (ICES 2004b).

- Bedrohung von Wildfischpopulationen durch **entkommene Zuchtfische**^{11 12}. Viel diskutiert ist die Frage, ob Fischkrankheiten, die in Aquakulturbeständen ausbrechen, eine Bedrohung für Wildfischpopulationen darstellen. Mehrfach erwiesen ist die Tatsache, dass mit importierten Fischbesätzen auch Fischkrankheiten, die auch die natürlich vorkommenden Fischbestände erkranken lassen, eingeschleppt werden (vergleiche Naylor et al. 2005). Konkrete Daten über das Ausmaß der **Übertragung von Krankheiten und Parasiten aus Aquakulturanlagen** auf Wildfischbestände sind jedoch kaum verfügbar (Hering 1999). Eine Ausnahme stellt die Arbeit von Krkosek et al. (2005) dar, die zeigt, dass marine Lachszuchten, die in den Wandergebieten von Wildlachsen liegen, deutlich das Infektionsrisiko des Lachslausbefalls für die Wildpopulationen erhöhen. Das Entkommen von in Aquakulturen gehaltenen Individuen stellt abgesehen von der Tatsache, dass sie Krankheiten und Parasiten übertragen können, generell eine starke Bedrohung für Wildpopulationen von Fischen dar. **Entwichene Zuchtfische konkurrieren mit den Wildpopulationen um Nahrungsressourcen und Laichplätze** – im Extremfall können heimische Wildarten oder –populationen durch nicht-heimische (allochthone) Zuchtfische verdrängt werden (Kolar & Lodge 2002; Villwock 1993, Hoffmann & Linnert 1992, Gausen & Moen 1991). Zum Teil können sich entwichene Zuchtfische mit Wildfischen paaren, wie z.B.

¹¹ Das Entweichen von Individuen bzw. deren Brut aus den herkömmlichen Haltungsformen von kommerziellen Fischzuchtbetrieben kommt häufig vor und ist schwer zu verhindern. Es beschränkt sich nicht nur auf einige wenige Individuen. Monitoringuntersuchungen, die seit 1989 in Norwegen durchgeführt werden, zeigen, dass im weiteren Küstengebiet rund 34-54 % der Atlantischen Lachse Zuchtlachse sind, in den Fjorden beträgt der Anteil von Zuchtlachs 10-21 % und in den Laichgebieten liegt der Anteil von Zuchtlachs bei 21-81 % (Quelle: Norwegian Directorate for Nature Management – 1999: Environmental objectives for Norwegian Aquaculture. DN-rapport 1999-1b). In den Jahren 1993-2001 sind den zuständigen Behörden in Norwegen jährlich 240.000 – 553.000 aus Aquakulturen entkommene Zuchtlachse gemeldet worden. Eine Übersicht über registrierte Ausbruchereignisse von Lachsen (*Salmo salar*) aus marinen Aquakulturanlagen findet sich auch bei Teufel et al. (2002).

¹² Dieser Punkt ist vor allem auch bei der Aufzucht von gentechnisch veränderten Zuchtfischen in herkömmlichen marinen Aquakultur-Systemen zu berücksichtigen (s. z.B. Teufel, J. & Weigt, R. (in press): Aktualisierung des Wissenstandes über transgene aquatische Organismen. Gutachten für das Bundesamt für Naturschutz)

2 Umweltprobleme von marinen Aquakulturbetrieben

der in Aquakulturen gehaltene Kulturlachs¹³. Die **Auskreuzung¹⁴ von allochthonen Zuchtfischen** kann jedoch zu einem drastischen Verlust der populationsgenetischen Integrität von Wildpopulationen führen (Schliewen et al. 2001). Im Extremfall kann die Introgression von Fremdgenen in Wildpopulationen zum Verlust von Populationsmerkmalen oder ganzen Populationen führen (Esmark et al. 2005, Garant et al. 2003, BfN 2002, Englbrecht et al. 2002, Kapuscinski 2001, Schliewen et al. 2001, Youngson et al. 2001, Breton & Uzbekova 2000, Dunham 1999, Hallerman & Kapuscinski 1993).

- Verwendung von **Fischmehl und –öl** zur Aufzucht von carnivoren Fischarten und Schalentieren, wie Lachs und Garnelen. Diese Fischfutterprodukte enthalten Fischmehl und –öle, die aus Wildfängen extrahiert werden. Da ein Großteil der weltweiten Fischpopulationen heute schon überfischt wird, darunter auch Arten, die ausschließlich zur Herstellung von Tierfutter gefangen werden, wie der Blaue Wittling (*Micromesistius poutassou*) oder die Chilenische Makrele (*Trachurus murphyi*) (Huntington 2004; Frid et al. 2003), stellt der Fischfang für die Fischfutterproduktion eine weitere Bedrohung natürlicher Fischpopulationen dar. Die europäischen Aquakulturen sind heute schon abhängig von Fischmehlimporten aus Südamerika. Mit Hilfe der Methode des Life Cycle Assessments haben Papatryphon et al. (2004) versucht, die negativen Umweltauswirkungen des Einsatzes verschiedener Futterzusammensetzungen für die Aufzucht von Regenbogenforellen in Frankreich zu quantifizieren. Die Autoren vergleichen vier aufgrund ihrer Futterzusammensetzung verschiedene Futtertypen, die jedoch das gleiche Nährwertprofil aufwiesen: 1. ein Futter mit hohem Fischmehl- und Fischölanteilen, wobei das Fischmehl zur Hälfte aus Norwegen, zu anderen Hälfte aus Peru stammte; 2. ein Futter mit hohem Fischmehl- und Fischölanteilen, wobei über die Hälfte des Fischmehlanteils aus Fischabfällen, der fischverarbeitenden Industrie stammte (Herkunft: Frankreich); 3. ein Futter mit einem sehr niedrigen Fischmehlanteil und einem hohen Anteil an pflanzlichen Eiweißersatzstoffen und 4. einem Futter, in dem sämtliche Fischbestandteile durch pflanzliche Eiweiße ersetzt sind. Die Umweltfolgen des Einsatzes dieser vier verschiedenen

¹³ Gross (1998), der die Eigenschaften von in Kulturen gehaltenen Atlantischen Lachsen mit Wildpopulationen des Atlantischen Lachses (*Salmo salar*) verglich, ist aufgrund von morphologischen, ökologischen und genetischen Veränderungen des Kulturlachses der Ansicht, dass man den Kulturlachs als eine eigene Rasse betrachten muss. Er vergleicht deshalb das potentielle Risiko, welches von der Freisetzung von Kulturlachsen ausgeht, mit dem der Einführung nicht-heimischer (allochthoner) Arten, die in der Regel mit nachteiligen Auswirkungen für die um die gleichen Ressourcen konkurrierenden heimischen (autochthonen) Arten verbunden ist.

¹⁴ Theoretisch kann eine Auskreuzung durch die Herstellung von sterilen Fischpopulationen für den Aquakulturbetrieb verhindert werden. Diese Sterilisationstechniken sind jedoch häufig unzureichend und gewährleisten keine 100%ige Sicherheit (Maclean & Laight 2000, Sutterlin et al. 1996).

2 Umweltprobleme von marinen Aquakulturbetrieben

Futtertypen wurden anhand folgender fünf Kategorien geprüft: dem Energieverbrauch, dem Verbrauch an biotischen Ressourcen, dem CO₂-Ausstoß, dem Versauerungs- und dem Eutrophierungspotenzial. Ökologische Auswirkungen auf die Populationen der befischten Arten wurden jedoch nicht berücksichtigt. Die Autoren kommen im Rahmen ihrer Untersuchung zu dem Ergebnis, dass der Verbrauch biotischer Ressourcen (in diesem Fall die Ausbeutung von marinen Fischressourcen) und die Belastung der Umwelt mit Stickstoff- und Phosphatmissionen die bedeutendsten Umweltbelastungen sind, die durch den Einsatz von Fischfutter entstehen. Es hat sich weiterhin gezeigt, dass der Einsatz von hochwertigen pflanzlichen Eiweissersatzstoffen und der Einsatz von Fischmehl aus Abfällen der Speisefischverarbeitung zusammen mit Verbesserungen im Betrieb von Aquakulturen (z.B. Verbesserung der Fütterungsmethoden, Entfernen von festen und gelösten Nährstoffen) effiziente Möglichkeiten darstellen, um die Umweltbelastungen, die durch den Einsatz von Fischfutter entstehen, zu reduzieren. Je nach Herkunft der zu Fischfutter verarbeiteten Fischmengen sind Fischmehle und -öle auch unterschiedlich stark mit **Pflanzenschutzmitteln, Dioxinen und PCBs** belastet und können über das Nahrungsmittel „Fisch aus Aquakulturen“ eine Gefährdung für die menschliche Gesundheit darstellen. Untersuchungen an der Bundesforschungsanstalt für Fischerei in Hamburg haben gezeigt, dass bei der Verfütterung von kommerziellem Fischfutter an Regenbogenforellen (*Oncorhynchus mykiss*) beträchtliche Mengen der in Europa seit den 80er Jahren verbotenen Insektizide Toxaphen und Chlordan in das Muskelfleisch der Zuchtfische gelangen können (Karl et al. 2002).

- Viele der heute üblichen Aquakulturanlagen befinden sich in Küstennähe, d.h. die für den Betrieb notwendige Infrastruktur nimmt einen Teil der Küstenlinie für sich ein. Küstenstandorte sind jedoch eine begrenzte Ressource, an die vielfache Nutzungsansprüche gestellt werden (z.B. durch Tourismus, Fischerei, Naturschutz, Betrieb von Windkraftanlagen). Nutzungskonflikte treten daher häufig auf¹⁵. Zum Teil geht die Anlage von Aquakulturen auch mit der **Zerstörung von gefährdeten Ökosystemen** einher. Als prominentestes Beispiel ist hier die Zerstörung von Mangrovenküstengebieten durch die Anlage von Garnelenzuchten zu nennen (Stewart 1997, Naylor et al. 2000). Die Zerstörungen von Mangrovenwäldern haben schwerwiegende ökologische Konsequenzen. Sie sind vor allem als sogenannte „Jugendstube“ für die Entwicklung bestimmter Fischarten von großer Bedeutung. Außerdem wirken Mangrovenwälder als Sedimentfalle und schwächen (Sturm-)Wellen ab. Sie haben somit eine auch wichtige Bedeutung für den

¹⁵ In Island ist der Betrieb von Lachszuchten an bestimmten Küstenabschnitten komplett verboten, um eine Auskreuzung der Zuchtlachse hier zu verhindern (NASCO 2003).

2 Umweltprobleme von marinen Aquakulturbetrieben

Küstenschutz. Einen weiteren Eingriff in dieses Ökosystem stellt auch das Sammeln von jungen Wild-Garnelen zum Aufbau von Aufzuchtpopulationen dar. In der Regel werden bei solchen Sammelaktionen große Mengen an nicht verwertbarem Beifang verworfen (Naylor et al. 2000). Ein weitaus weniger prominentes Beispiel ist die Anlage von künstlichen Muschelbänken, durch die ebenfalls natürliche Lebensgemeinschaften zerstört werden. Auch hier werden natürliche Muschelpopulationen in der Regel durch das Sammeln von jungen Muscheln (sogenannten Saatmuscheln) zur Aufzucht stark dezimiert aufgrund der Anwendung wenig schonender Sammelmethode (Ruth 1997, Saier & Buschbaum 2003).

- Ein weiteres Problemfeld beim Betrieb von Aquakulturen stellen verschiedene Maßnahmen, die der **Abwehr und Vertreibung von fischfressenden Vögeln oder Säugetieren** dienen, dar. Vor allem Maßnahmen, die der Dezimierung von Populationen von unter Schutz stehenden Arten gelten, sind aus Naturschutzsicht sehr kritisch zu betrachten.

Die genannten negativen Auswirkungen mariner Aquakultur-Systeme konnten in den letzten zwanzig Jahren durch verbesserte Produktionstechniken und –methoden zum Teil deutlich verringert werden¹⁶. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die erreichten technischen Fortschritte.

Tabelle 1: Erzielte technische Fortschritte beim Betrieb von marinen Aquakulturanlagen.

Umweltproblem	Technische Neuerungen/neu entwickelte Maßnahmen
Gewässereutrophierung	<ul style="list-style-type: none"> · Einsatz von Fischfutter mit erhöhtem Futterwert¹⁷ · Verbesserung der Fütterungstechniken (Beispielsweise der Einsatz von Unterwasserkameras zur Überwachung der Fütterung und die Durchführung einer bedarfsgerechten Fütterung, um eine organische Belastung durch herabsinkende Futterreste zu verringern.) · Entwicklung und Einsatz von Verfahren zur Koproduktion von Algen, die einen Beitrag zur Reduktion der organischen Belastung leisten¹⁸. · niedrigere Populationsdichten in den Netzkäfigen

¹⁶ Es gibt selbstverständlich auch im Rahmen von staatlichen Auflagen eine Reihe von Möglichkeiten, die möglichen schädlichen Umweltfolgen, die durch den Betrieb von Aquakulturanlagen entstehen, einzudämmen. Diese reichen von einer beschränkten Vergabe von Lizenzen für den Betrieb von Aquakulturanlagen über eine Limitierung der Futtermenge, die eingesetzt werden darf, bis hin zum Verbot von bestimmten Chemikalien und pharmazeutischen Stoffen. Eine Übersicht über die Möglichkeiten, die der Staat hat, geben Tacon & Forster (2003).

¹⁷ Nach Aussagen von EWOS, einem der Hauptproduzenten für Fischfutter zur Lachsaufzucht, gibt die Unternehmensgruppe jährlich über 10 Millionen Euro an Entwicklungskosten für die Verbesserung des Futter- und Gesundheitswertes ihres Futters aus (The Economist, 07.08.2003: The promise of a blue revolution).

¹⁸ Troell et al. (2003) kamen im Rahmen einer review-Studie zu dem Ergebnis, dass unter anderem noch großer Forschungsbedarf zur Beantwortung ökonomischer Fragen zum Betrieb von integrierten Marikulturen besteht.

2 Umweltprobleme von marinen Aquakulturbetrieben

Fortsetzung Tabelle 1: Erzielte technische Fortschritte beim Betrieb von marinen Aquakulturen

Umweltproblem	Technische Neuerungen/neu entwickelte Maßnahmen
Einsatz von Antibiotika	<ul style="list-style-type: none"> · niedrigere Populationsdichten in den Netzkäfigen, um die Gefahr des Ausbruchs von Krankheiten und von Parasitenbefall zu reduzieren, Reduktion von Stresssymptomen bei den Fischen · Entwicklung von Impfstoffen und Impfmethoden für die wichtigsten Krankheiten (Durchführung der Impfungen durch geschultes Personal) · regelmäßige Überwachung des Gesundheitszustandes der Bestände durch einen Amtstierarzt · Töten infizierter Populationen
Einsatz von Chemikalien zur Bekämpfung von Parasiten und zur Desinfektion	<ul style="list-style-type: none"> · regelmäßige Überwachung des Gesundheitszustandes der Bestände durch einen Amtstierarzt · Einsatz von Putzerfischen gegen Parasiten · Durchführung von Umweltprüfungen im Rahmen des Zulassungsverfahrens für die Chemikalien · Durchführung einer Standortprüfung, um die aus Umweltaspekten maximal akzeptable Anzahl von Anwendungen pro bestimmter Zeiteinheit festzulegen · Verbesserte Absprachen zwischen den Aquakulturbetreibern über einen gemeinsamen Einsatzzeitpunkt von Mitteln zur Parasitenbekämpfung
Einsatz von Pestiziden (Antifoulingmittel, Bewuchshemmer)	<ul style="list-style-type: none"> · in einigen europäischen Ländern und in Kanada gibt es mittlerweile Beschränkungen für den Einsatz von Tributyltin (Pillay 2005)
Entkommen von Zuchtfischen mit verschiedenen Folgen für natürliche Populationen ¹⁹	<ul style="list-style-type: none"> · Errichtung von „genetischen Schutzzonen“ für besonders gefährdete oder schützenswerte Wildpopulationen, in denen kein Aquakulturbetrieb erfolgen darf

¹⁹ Derzeit wird z.B. an der Universität von New Hampshire in Zusammenarbeit mit der Firma Net Systems (Bainbridge Island, Washington, USA) Forschung zu Aquakultursystemen auf hoher See betrieben. Neben der Forschung mit fest installierten Systemen wird auch mit frei schwimmenden Systemen geforscht (Mann 2004). Bedenken in Bezug auf diese Technik gehen vor allem in Richtung der Problematik des Entweichens von Zuchtfischen aus den Halterungsanlagen und der Auskreuzung bzw. Einkreuzung der Zuchtfische in Wildpopulationen. Anfang Juni 2005 hat die für ozeanographische und atmosphärische Fragestellungen zuständige nationale US-amerikanische Behörde, the US National Oceanographic and Atmospheric Administration, einen Gesetzesvorschlag beim US-Kongress eingereicht, der vorsieht, das in Zukunft auch Genehmigungen für den Betrieb von Aquakulturanlagen bis zu 200 Meilen von der Küste entfernt vergeben werden können (Mara 2005; <http://www.nmfs.noaa.gov/mediacenter/aquaculture/>).

2 Umweltprobleme von marinen Aquakulturbetrieben

Fortsetzung Tabelle 1: Erzielte technische Fortschritte beim Betrieb von marinen Aquakulturen

Umweltproblem	Technische Neuerungen/neu entwickelte Maßnahmen
Entkommen von Zuchtfischen mit verschiedenen Folgen für natürliche Populationen	<ul style="list-style-type: none"> · regelmäßige Überprüfung der technischen Ausrüstung der Betriebe durch eine geeignete unabhängige Institution · regelmäßige und für die Betriebserlaubnis erforderliche Schulung des Personals · ständige Überwachung der Qualität der Netzkäfige durch den Betreiber um Ausbrüche durch Materialermüdung zu vermeiden · Meldepflicht von Ausbrüchen · Markierung der Zuchtfische, um Ausbrüche rückverfolgen zu können und die Ursachen für Ausbrüche zu identifizieren²⁰ · die Aufzucht von sterilen Populationen, um zumindest das Risiko der Auskreuzung zu minimieren (Bislang gibt es jedoch keine Technik, die garantiert, dass die Populationen zu 100% steril sind (Teufel et al. 2002).)
Einsatz von Fischmehl und –öl	<ul style="list-style-type: none"> · Einsatz von Fischmehl und –öl, das aus unabhängig als nachhaltig zertifizierter Fischerei stammt (zum Beispiel mit dem MSC-Siegel zertifizierte Fischerei) · Verwendung von Fischfutter, das aus Überresten der Speisefischverarbeitung hergestellt wurde²¹ · Nutzung von unvermeidbarem Beifang in der Speisefischfischerei zur Herstellung von Fischmehl und –öl²² · Einsatz von verschiedenen vegetabilen und nicht-vegetabilen Ersatzstoffen für Fischmehl und –öl in der Fischfutterproduktion²³ · Erhöhung des Nährwertes von vegetabilen Ersatzstoffen für carnivore Fische durch den Einsatz von Enzymen · Aufzucht von für die Fischfutterpelletherstellung geeigneten Insektenlarven · Substitution von Fischmehl in der terrestrischen Tierproduktion (Reduktion des weltweiten Bedarfs an Fischmehl)
Nutzungskonflikte, Gefährdung bedrohter Ökosysteme	<ul style="list-style-type: none"> · Umweltverträglichkeitsprüfung potentieller Produktionsstandorte durch staatliche Behörden

²⁰ In den US-Staaten Maine und Washington müssen Zuchtfische markiert werden (Naylor et al. 2005). Diese Methode, die dazu dient, Ausbrüche rückverfolgen zu können, wird auch von Read & Fernandes (2003) vorgeschlagen, um unter anderem auch die Möglichkeit der Strafverfolgung von nicht erfüllten Anforderungen zu gewährleisten.

²¹ Hier besteht das Problem, dass Fischmehl, das aus Resten der Speisefischverarbeitung hergestellt wird, relativ stark mit Schadstoffen belastet ist, da hier auch die Entgiftungsorgane der Fische (wie z.B. Leber oder Niere) verarbeitet werden (persönliche Mitteilung Dr. Horst Karl, Bundesforschungsanstalt für Fischerei, Hamburg).

²² Die FAO schätzt, dass sich die weltweiten Beifangmengen auf rund 27 Mio t Fisch belaufen (zitiert aus ICES 2003). Die höchsten Beifangraten treten in der Garnelenfischerei auf; sie betragen hier rund 84% des Fanggewichtes (ICES 2003).

²³ Einen Überblick über den derzeitigen Stand der Möglichkeiten gibt Kapitel 3.

2 Umweltprobleme von marinen Aquakulturbetrieben

Inwieweit die bislang erzielten technischen Fortschritte dazu beigetragen haben, dass die Fischproduktion in Aquakulturen mit weniger Umweltproblemen behaftet ist, hängt natürlich ganz davon ab, in welchem Maß Neuerungen zum Einsatz kommen bzw. die betreffenden Staaten entsprechende Verordnungen erlassen haben. Im Hinblick auf die staatlichen Regulierungen gibt es zum Teil erhebliche Unterschiede²⁴.

In Norwegen wurden zum Beispiel in den letzten 20 Jahren eine Reihe von Verbesserungen bei der Fischeaufzucht in Aquakulturen erreicht. Vor allem durch die Reduktion der Populationsdichten, die Entwicklung von Impfstoffen und durch staatlich geregelte strenge Gesundheitskontrollen konnte in Norwegen der Einsatz von Antibiotika in der marinen Aquakultur in den letzten 10 Jahren trotz steigender Produktionszahlen stark reduziert werden (siehe Abbildung 1) (Official Statistics of Norway 2003, ICES 2002, Directorate for Nature Management 1999). Die durch die Fischeaufzucht verursachte Antibiotikabelastung konnte somit in Norwegen mittlerweile auf ein Minimum reduziert werden.

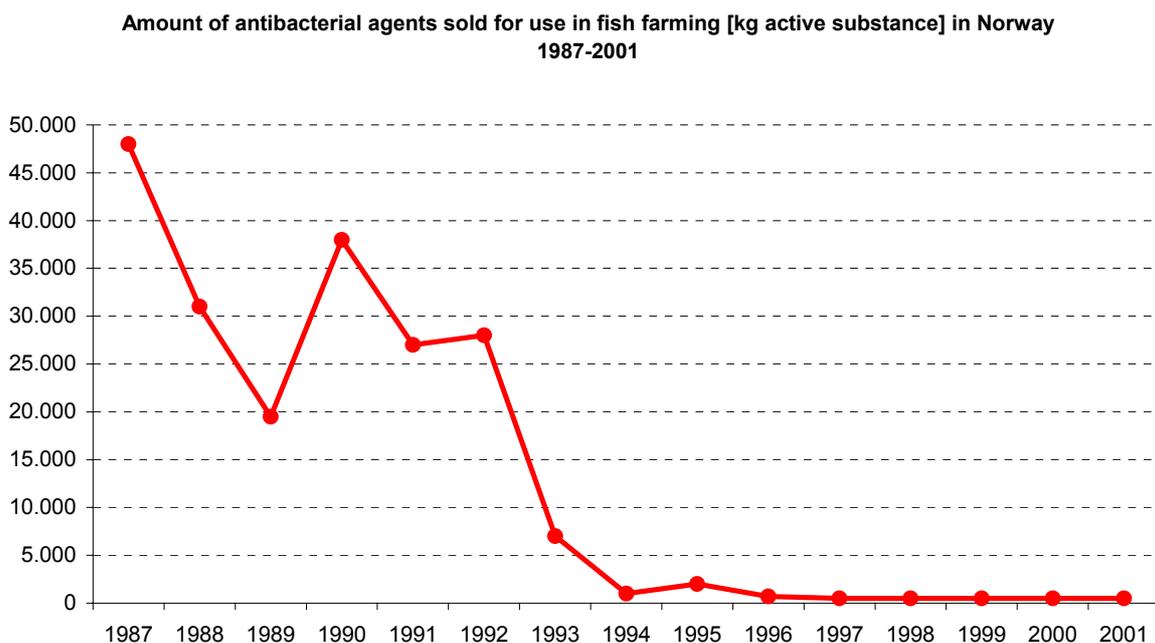


Abbildung 1: Antibiotika, die im Zeitraum 1987-2001 in Norwegen zur Verwendung in Aquakulturen verkauft worden sind. Quelle: Noregs offisielle statistikk, Fiskeoppdrett 2001.

Durch den Einsatz von hochwertigem Futter und verbesserten Fütterungstechniken konnten in Norwegen die Phosphat- und Stickstoffemissionen pro Tonne erzeugtem Fisch deutlich reduziert werden. In den frühen 80er Jahren wurden noch rund 90-100 kg N und 11-12 kg P

²⁴ Vergleiche zum Beispiel die unterschiedlichen Regulierungen zur Vermeidung von Fischeausbrüchen (Naylor et al. 2005).

2 Umweltprobleme von marinen Aquakulturbetrieben

pro Tonne erzeugtem Fisch emittiert; 1996 hingegen wurden nur noch 50 kg N und 7 kg P emittiert (Directorate for Nature Management 1999). Durch die starke Expansion der Aquakulturindustrie in Norwegen ist jedoch die Gesamtbelastung von 13.000 t N und 2.500 t P 1989 auf 16.000 t N und 3.500 t P 1996 gestiegen. In Norwegen ist die Aquakulturindustrie mittlerweile die größte Emissionsquelle für Phosphat (Official Statistics of Norway 2003). Nach Einschätzungen des norwegischen Umweltministeriums spielen die durch die Phosphat- und Stickstoffemissionen verursachten Umweltprobleme in Norwegen nur lokal eine Rolle. Durch eine entsprechende Überprüfung der Standorte soll künftig bei der Vergabe von Lizenzen für den Betrieb von Aquakulturen verhindert werden, dass negative Umweltauswirkungen durch den anfallenden organischen Abfall entstehen (Directorate for Nature Management 1999).

Ein Defizit bei der Reduzierung der negativen Umweltfolgen der Aquakulturindustrie besteht in der Entwicklung alternativer Antifoulingmittel, um die Netzkäfiganlagen vor Korrosion zu schützen. Nach wie vor wird hierzu vor allem Kupferoxid (Cu_2O) eingesetzt. Aufgrund der nachgewiesenen toxischen Eigenschaften von Cu_2O auf zahlreiche marine Organismen und aufgrund der Tatsache, dass Cu_2O sich in der Nahrungskette anreichert, wurde schon 1990 auf der dritten Konferenz zur Erhaltung der Nordsee (Hague Declaration) entschieden, dass die Kupferemissionen in der Nordsee bis 1995 um 50% reduziert werden sollen (Referenzjahr 1985). In Norwegen stieg der Einsatz von Cu_2O in marinen Aquakultur-Systemen jedoch seit 1990 stark an (siehe Abbildung 2).

Use of copper in fish farming [t] in Norway 1985-2001

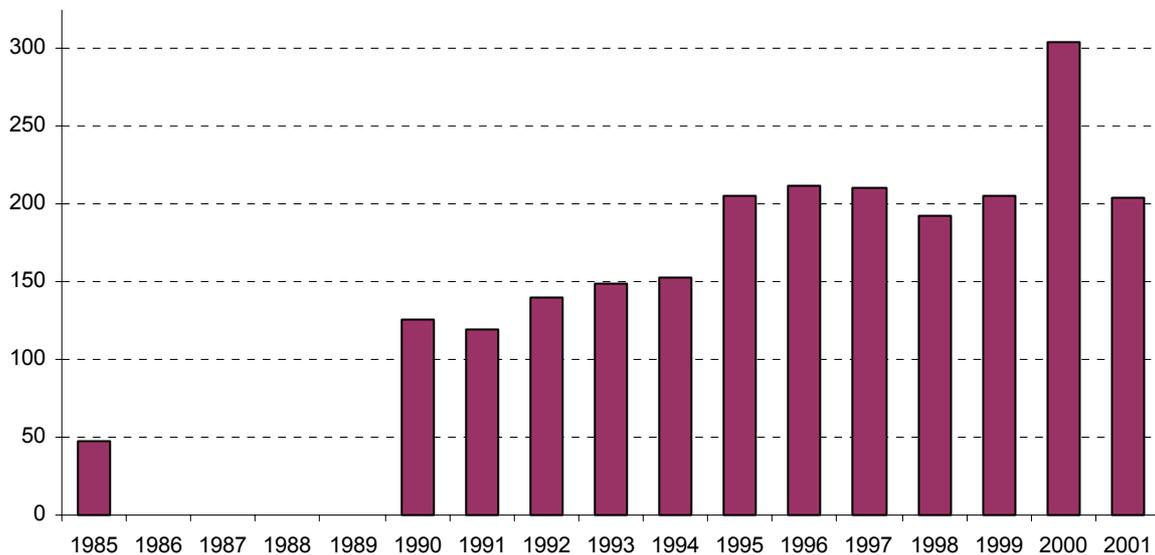


Abbildung 2: Einsatz von Kupferoxid in Aquakulturanlagen in Norwegen im Zeitraum von 1985-2001. Quelle: Noregs offisielle statistikk, Fiskeoppdrett 2001.

Bislang ungelöst ist auch das Problem der Bedrohung von Wildpopulationen durch das Entkommen von Zuchtfischen. In Norwegen besteht eine Meldepflicht für entkommene Zuchtfische. Die Zahlen sind immer noch hoch. In der Saison 1997/98 wurden 650.000 entkommene Zuchtfische (Lachs und Forelle) gemeldet. Derzeit wird in Norwegen an der Entwicklung entsprechender Verordnungen zur Lösung bzw. Minimierung des Problems gearbeitet. Unter anderem wird darüber nachgedacht, eine Markierungspflicht für Zuchtfische einzuführen (Naylor et al. 2005, Directorate for Nature Management 1999).

Ein weiteres bislang ungelöstes Problem vor allem im Hinblick auf weitere Produktionssteigerungen ist die Fütterung der in marinen Aquakultur-Systemen gezüchteten carnivoren Fischarten (vergleiche auch FAO 2004a). Das benötigte Fischfutter besteht zum größten Teil aus Fischöl und -mehl aus Fischfängen, die speziell für die Fischfutterproduktion getätigt werden²⁵. Es werden sogar Bestände befischt, die bereits gefährdet sind. Die Folgen für die marine Nahrungskette sind bislang nicht bekannt. Weltweit

²⁵ Um in Norwegen 1 kg Lachs zu produzieren, werden 4 kg Wildfisch benötigt. Diese Berechnung beruht auf der Verwendung des in Norwegen gängigen Futterquotienten von 1,2 und auf Angaben der FAO für einen durchschnittlichen Gehalt von Fischöl der zur Herstellung von Fischfutter verwendeten Fischarten (Tuominen & Esmark 2003).

2 Umweltprobleme von marinen Aquakulturbetrieben

werden jährlich rund 6,3 Mio t Fischmehl und 1,1 Mio t Fischöl produziert. Dafür werden rund 33 Mio t Fisch und Fischreste verarbeitet (FIN 2005a). Derzeit wird intensiv an den Einsatzmöglichkeiten von alternativen Proteinquellen geforscht (siehe Kapitel 3).

Speziell durch die Fischfutterproblematik ist die Produktion von Fisch häufig keine reine nationale Angelegenheit. Zumindest die europäischen marinen Aquakultur-Produzenten sind zur Deckung ihres Futterbedarfes auf Fischfänge aus Südamerika angewiesen. Es stellt sich auch aus diesem Gesichtspunkt die Frage, ob angesichts der Wachstumsraten in diesem Bereich ein einheitlicher umweltrechtlicher Rahmen geschaffen werden muss, der die Förderung einer nachhaltigen Entwicklung der marinen Aquakultur gewährleistet. Hierfür plädiert auch der Sachverständigen Rat für Umweltfragen in seinem Sondergutachten von 2004 zum Meeresumweltschutz für Nord- und Ostsee (SRU 2004).

3 Produktion und Verwendung von Fischfutter: Status quo und derzeitige Alternativen

Die Fütterung der Fische stellt eine große Herausforderung für die nachhaltige Produktion in Aquakulturen dar. Viele der bekannten carnivoren Fischarten wie Lachs, Forelle und Kabeljau, die in Aquakulturen gehalten werden, werden auf der Basis von Wildfischfängen gefüttert (Powell 2003). Fischmehl und Fischöl sind bei der Fütterung in Aquakulturen die vorrangigen Protein- und Fettquellen (Watanabe 2002).

Fisch, der für die Produktion von Fischmehl und Fischöl verwendet wird, wird hauptsächlich im Nordostatlantik und im südöstlichen Pazifik (Chile, Peru) gefangen (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Durchschnittliche Fischfangmengen, die für die Produktion von Fischmehl und Fischöl bestimmt sind, aufgeteilt nach Regionen.

Region (Land)	Anlandungen (in 1000 Tonnen)	Anteil (in %)
Südamerika (v.a. Peru und Chile)	8,017	37
EU (v.a. Dänemark)	1,524	7
andere europäische Länder (Norwegen, Island)	2,393	11
Andere Regionen (v.a. Fernost, Südostasien, Nordamerika und Naher Osten)	9,637	45

Quelle: FAO (2004b)

Weltweit wird das meiste Fischmehl in Peru produziert, weitere wichtige Produktionsstätten befinden sich in Chile und China (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Internationale Fischmehlproduktion (Durchschnitt der Jahre 1997-2001).

Region/Land	durchschnittliche jährliche Produktion (in 1000 Tonnen)	Anteil (in %)
Peru	1,959	31
Chile	803	13
China	733	12
EU	597	9
Thailand	389	6
Japan	357	6
USA	305	5
Island und Faroerinseln	285	4
Norwegen	255	4
andere	632	10
insgesamt	6,315	100

Quelle: FAO (2003b)

3 Produktion und Verwendung von Fischfutter: Status quo und derzeitige Alternativen

Peru nimmt mit fast einem Drittel auch den größten Anteil an der Produktion von Fischöl ein (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Internationale Produktion von Fischöl (Durchschnitt der Jahre 1997-2001).

Region/Land	durchschnittliche jährliche Produktion (in 1000 Tonnen)	Anteil (in %)
Peru	372	31
EU	186	16
Chile	155	13
Island und Faroerinseln	113	10
USA	113	10
Norwegen	80	7
andere	163	13
insgesamt	1182	100

Quelle: FAO (2003c)

Der Fischfang beläuft sich weltweit auf über 96 Mio t, hiervon werden mehr als 30 Mio t für die Produktion von Fischmehl und Fischöl genutzt. Für die Fischmehlherstellung wird der Rohfisch zerkleinert, gekocht, getrocknet und gemahlen. Der Frischfisch wiegt etwa das vier- bis fünffache des Endproduktes Fischmehl. Das anfallende Presswasser wird für die Herstellung von Fischöl und Leimwasser genutzt (Fischer 2000). Für die Produktion von Fischmehl und Fischöl werden kleine, grätenreiche und pelagische Fischarten gefangen, die häufig auch als „Industriefisch“ bezeichnet werden (Tuominen und Esmark 2003) (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Durchschnittliche Fangmengen und Anteile der einzelnen Fischarten bei der Fischmehlproduktion im Zeitraum von 1997-2001.

Anteil der einzelnen Fischarten bei der Fischmehlproduktion	Fangmengen (in 1000 Tonnen)	Anteil (in %)
Sardelle (<i>Engraulis ringens</i>)	7,502	35
Kapelan (<i>Mallotus villosus</i>)	1,318	6
Blauer Wittling (<i>Micromesistius poutassou</i>)	924	4
Sandaal (<i>Ammodytes marinus</i> & <i>A. tobianus</i>)	879	4
Südamerikanische Sardine (<i>Sardinops sagax</i>)	515	2
Sprotte (<i>Sprattus sprattus</i>)	498	2
Hering (<i>Clupea harengus</i>)	193	1
Stintdorsch (<i>Trisopterus esmarkii</i>)	96	<1
Makrelen (<i>Trachurus trachurus</i> , <i>Scomber scombrus</i>)	8	<1
andere Arten	9,637	45

Quelle: FAO (2004c)

Tuominen und Esmark (2003) beschreiben die aktuelle Bestandessituation der Fischarten, die üblicherweise für die Produktion von Fischmehl und Fischöl genutzt werden. Der Bestand der Südamerikanischen Sardine (*Sardinops sagax*) ging in den letzten Jahren dramatisch

zurück, für andere Arten wie die Chilenische Makrele (*Trachurus murphyi*) werden rückläufige Bestandszahlen notiert. Weitere Arten wie der Blaue Wittling (*Micromesistius poutassou*) und die Atlantische Makrele (*Scomber scombrus*) werden zur Zeit mit solch einer Intensität befischt, dass nicht gewährleistet ist, dass diejenige Bestandesgröße, die die Reproduktion des Bestandes sicherstellt, erhalten bleibt²⁶. Bei allen genannten Arten sowie für die Peruanische Sardelle (*Engraulis ringens*), den Kapelan (*Mallotus villosus*), den Kleinen Sandaal (*Ammodytes tobianus*) und die Atlantische Stachelmakrele (*Trachurus trachurus*) sehen Tuominen und Esmark (2003) die maximale Ausbeutung der Bestände erreicht (vorrangige Informationsquellen von Tuominen und Esmark 2003: FAO, FishBase, Whitehead, ICES). Im Jahr 2003 erreichte die Fangmenge an Blauem Wittling eine Rekordhöhe von 2,3 Mio t, entgegen den Ratschlägen von ICES (International Council for the Exploration of the Sea), nicht mehr als 600.000 t anzulanden (ICES 2004a). Glücklicherweise haben sich die Bestände des Blauen Wittlings bislang wieder erholt. Dieses Beispiel zeigt die mangelnde internationale Kooperation bei der Absprache von Fangquoten bei weit verbreiteten Arten auf (Tragedy of the Commons). Ausserdem gibt das Beispiel Hinweise darauf, wie schwer es aufgrund der häufig geringen Datengrundlage über die Situation pelagischen Fischbestände ist, wissenschaftliche Ratschläge zur Fangquoten, die dem Vorsorgeprinzip verpflichtet sind, zu erarbeiten.

Aufgrund der Tatsache, dass die genannten Fischarten wichtige Beutefische für größere Fische, Seevögel und marine Säugetiere darstellen, hat die Ausbeutung dieser Fischbestände erhebliche Auswirkungen auf die Nahrungsnetze im marinen Ökosystem. Gerade im Hinblick auf diese Auswirkungen besteht noch großer Forschungsbedarf.

Nahezu ein Drittel der weltweiten Wildfischfänge wird nicht direkt vom Menschen verzehrt, sondern indirekt als Futtermittelbestandteil von Hühnern und Schweinen auf landwirtschaftlichen Betrieben und von Fischen in Aquakulturen. Derzeit werden für die Fischfütterung in Aquakulturen 37% der weltweiten Fischmehlproduktion aufgewendet. 2002 betrug der Anteil des in Aquakulturen verfütterten Fischöles 56% der weltweiten Produktion, Schätzungen gehen für das Jahr 2010 von 79% aus (IFFO 2002).

70% des in Aquakulturen eingesetzten Fischmehls und Fischöls werden an Lachs, Forelle und Krabben verfüttert, obwohl auf diese nur 30% der globalen Fischfutterproduktion entfallen (Hardy 2000). Die Aquakultur von carnivoren Fischarten und Garnelen ist daher ökologisch

²⁶ Die Kategorien, mit denen beschrieben wird, in welcher Gefährdungssituation sich ein Fischbestand befindet, sind bei ICES (2003) erläutert.

3 Produktion und Verwendung von Fischfutter: Status quo und derzeitige Alternativen

besonders bedenklich. Garnelen und Lachse erzielen jedoch höhere Preise als Karpfen und Muscheln, daher ist der Anreiz hier zu investieren höher (Fischer 2000).

Angesichts abnehmender Wildfischbestände und der Zunahme der Aquakultur wird nach Möglichkeiten gesucht, die konventionellen Fütterungsrationen auf der Basis von Fischmehl und -öl durch neue Futtermischungen zu ersetzen. Bisher vorliegende Forschungsergebnisse zeigen, dass es tatsächlich möglich ist, einen Teil von Fischmehl und Fischöl durch andere Protein- und Fettquellen zu ersetzen²⁷.

Als Ersatz von Fischmehl als Proteinquelle in Futterrationen können etliche Stoffe pflanzlichen und tierischen Ursprungs in Aquakulturen verwendet werden. In diesem Zusammenhang sind zu nennen (soweit nicht anders angegeben nach Tacon 1994 zitiert nach New und Wijkström 2002):

- Nebenprodukte tierischen Ursprungs (z.B. aus der Geflügelproduktion): u.a. Blut-, Fleisch- und Knochenmehl²⁸
- Nebenprodukte von Nicht-Wirbeltieren, z.B. Erdwürmer
- Ölsaaten, z.B. Sojabohne, Raps-, Sonnenblumen- und Baumwollsaat
- Leguminosen, z.B. Bohnen, Erbsen, Lupinen
- verschiedene pflanzliche Proteinprodukte, z.B. Gluten aus Mais und Weizen, Konzentrate aus Kartoffeln oder Blattmasse
- Proteine aus Mikroorganismen, v.a. durch die Fermentation von Pilzen und Bakterien
- Mikroalgen (Källqvist und Willumsen 2002 zitiert nach Touminen und Esmark 2003)

Die agrarwissenschaftliche Universität in Norwegen startete ein Forschungsvorhaben mit einer Laufzeit von fünf Jahren zur Produktion von Proteinen durch Bakterien, die Erdgas als Nahrungsquelle nutzen. Die bisherige Forschungsarbeit zeigt, dass entsprechende Nährwerte und technologische Eigenschaften vorliegen, aufgrund derer sich diese

²⁷ Nach Aussagen von Kjell Bordal, einem leitenden Angestellten von EWOS, einem der Hauptproduzenten von Fischfutter für die Lachsaufzucht, konnte der Fischmehlanteil von 1972 bis heute um die Hälfte reduziert werden (von 70% auf 35%). Er glaubt, dass seine Firma durch die Verwendung von vegetabilen Ersatzstoffen, wie Soja, Rapsöl und Maisgluten, den Fischmehlanteil nochmals um die Hälfte senken kann, ohne dass die Qualität des Futters darunter leidet (The Economist, 07.08.2003: The promise of a blue revolution.).

²⁸ Aufgrund der TSE-Problematik ist es derzeit in der EU verboten, Tierkörpermehle aus Wiederkäuern an Fische zu verfüttern. Erlaubt ist der Einsatz von aus Nichtwiederkäuern gewonnenen Blutprodukten und Blutmehl (Quelle: EU - <http://europa.eu.int/scadplus/leg/de/lvb/f83001.htm>).

Einzellerproteine für den Einsatz in der Tierernährung eignen. Für den Gebrauch als Futtermittel für Lachse hat die EU bereits die Zulassung erteilt (EU-Commission 2003)²⁹.

Mikroalgen, Plankton sowie generell marine Ressourcen, die sich auf einer niedrigeren Trophiestufe befinden (z.B. Antarktischer Krill *Euphausia superba*), wurden ebenfalls für die Fütterung in der Aquakultur vorgeschlagen (EU-Commission 2003). Sofern diese nicht aus eigens angelegten Züchtungen stammen, ist hierbei zu bedenken, dass damit die Grundlage aller Nahrungsnetze im marinen Ökosystem empfindlich berührt wird. Die Auswirkungen auf die Nahrungskette können dramatisch sein, wenn es nicht gelingt, Grenzen für die Abschöpfung festzulegen und einzuhalten (Touminen und Esmark 2003). Vegetabile Ersatzstoffe sind daher ökologisch betrachtet als vorteilhaftere Lösung anzusehen.

Beschränkungen beim Einsatz der oben genannten Ersatzstoffe können sich ergeben durch (Tacon 1994 zitiert nach New und Wijkström 2002):

- begrenzte Verfügbarkeit
- hohe Kosten für die Ersatzstoffe
- schwankende Qualitäten
- geringere Schmackhaftigkeit
- mögliches Vorhandensein antinutritiver Substanzen
- geringere Verdaulichkeit
- geringere Verfügbarkeit essentieller Aminosäuren

Der völlige Verzicht auf tierisches Protein ist aufgrund der Ernährungsansprüche carnivorere Fische kaum zu realisieren. Aus diesem Grund beschäftigen sich Forschungsvorhaben in Deutschland damit, Fischmehl-Ersatzstoffe tierischen Ursprungs auf ihre Eignung als Forellenfutter zu überprüfen. Auch in den semi-intensiven Produktionsformen der ökologischen Forellenzucht reicht die Naturnahrung (z.B. in Form von Anflug, Plankton) für die Fische nicht aus. Vom Bundesprogramm Ökolandbau wird daher ein Projekt des Verbandes Naturland e.V. gefördert, dessen Ziel es ist, die Eignung von Fliegenmaden der Art *Hermetia illucens* für die Herstellung von Fischfutter zu überprüfen. Das Projekt wird 2005 abgeschlossen und soll bis dahin konkrete Aussagen zur technischen und finanziellen

²⁹ Offen ist die Frage, ob die Verwendung von Erdgas zur Herstellung von Futterproteinen aufgrund der begrenzten Erdgasvorkommen sinnvoll ist.

Machbarkeit der Fliegenmadenzucht sowie zur Futterpelletherstellung aus diesem Material ermöglichen³⁰.

Ein weiterer Lösungsansatz könnte sein, Weißfische aus Süßwasserseen zur Herstellung von Fischfutter zu nutzen. Als Weißfische werden Fische bezeichnet, die zum Beispiel wegen ihres hohen Gehalts an Gräten nicht als Speisefische verwendet werden. Zum Teil fallen Weißfische bei der Bewirtschaftung von Süßwasserseen in größeren Mengen an. Reiter (2005) führte eine Reihe von Untersuchungen zur Nutzung von Weißfischen aus Süßwasserseen für die Futtermittelherstellung durch. Bei der Verfütterung des Fischmehls heimischer Süßwasserfische konnten keine sensorischen Nachteile oder nachteilige Auswirkungen auf das Fettsäuremuster der Fische festgestellt werden, lediglich die Futtermittelverwertung war geringfügig schlechter. Laut Reiter (2005) kann ein großer mittelfränkischer See 4,12 t Fischmehl aus Weißfischen liefern. Bislang gibt es jedoch keine Berechnungen, welche Fischmehlmengen auf diese Weise weltweit produziert werden können.

Innerhalb der EU existieren bereits EU-unterstützte Programme zum Ersatz von Fischmehl und Fischöl (PEPPA, Gutintegrity, PUFAfeed, FPARS und RAFOA), innerhalb derer derzeit 11 Projekte durchgeführt werden (Gagliardini Anibaldi 2002). Das EU-Projekt FOSIS untersucht beispielsweise die Möglichkeiten des Ersatzes von Fischöl durch vegetabile Öle, ohne den Nährwert und das Wachstum zu vermindern, bei möglichst minimaler Fettdeposition im Fischfleisch (EU-Commission 2003).

Ferner arbeiten verschiedene Forschungseinrichtungen in Europa an einem integrierten Projekt, das sich mit der nachhaltigen Produktion von Futtermitteln für die Aquakultur beschäftigt (Titel: „Production of Aquaculture Feed, Sustainable and Healthy Food Production“). Ziel des Projektes ist es, den Einsatz unerwünschter Rohmaterialien für die Futtermittelproduktion zu verringern, neue Quellen für die Herstellung von Futtermitteln zu identifizieren und diese Materialien weiterzuentwickeln. Die Abhängigkeit von Futtermittelimporten von außerhalb Europas soll verringert werden (EU-Commission 2003).

³⁰ URL: http://www.bundesprogramm-oekolandbau.de/projekt_04oe020.html [Stand: 16.08.2005].

3 Produktion und Verwendung von Fischfutter: Status quo und derzeitige Alternativen

Tabelle 6 zeigt eine Auswahl an Forschungsarbeiten, die sich mit dem Ersatz von Fischmehl und Fischöl bzw. grundlegend mit der Fütterung in Aquakulturen beschäftigen.

Tabelle 6: Auswahl an Forschungsarbeiten in Europa zum Einsatz vegetabiler Ersatzstoffe in Aquakulturen.

Forschungseinrichtung/-gruppe ³¹ und Projektdauer	untersuchte Fischarten	Forschungsfragen, -ziele	erwartete bzw. bereits vorhandene Ergebnisse
RAFOA (EU-Programm): Researching alternatives to fish oils for aquaculture ³² Beginn: 1.10.2001 Dauer: 48 Monate	Atlantischer Lachs, Regenbogenforelle, See-Brasse, Wolfsbarsch	Einsatz verschiedener Mischungen von Fischöl und vegetabilen Ölen (Lein-, Raps-, Olivenöl) in der Fischfütterung: Erhebung diverser Parameter bzgl. Fischwachstum, Futteraufnahme und die Tiergesundheit. Ziel: detaillierte Aussagen zum Einsatz vegetabiler Öle in der Fischfütterung, tiefergehendes Verständnis des Fettstoffwechsels.	Nach Betrachtung von Biochemie, Stoffwechselprozessen, Fleischqualität und Tiergesundheit kann ein großer Teil der Fischöls, das derzeit in der Aquakultur verwendet wird, durch vegetabile Öle ersetzt werden, ohne dass negative Effekte auf das Fischwachstum auftreten. Der Einsatz von Fischöl in der Endmast kann das für carnivore Fischarten typische und für die menschliche Ernährung bedeutsame Fettsäuremuster wiederherstellen. ³³

³¹ Im folgenden sind nur die Projektkoordinatoren angegeben, nicht die Projektpartner.

³² European Commission 2004

³³ Kaushik 2004; URL: http://www.rafoa.stir.ac.uk/project_results.html [Stand: 18.08.2005].

3 Produktion und Verwendung von Fischfutter: Status quo und derzeitige Alternativen

Fortsetzung Tabelle 6: Auswahl an Forschungsarbeiten in Europa zum Einsatz vegetabiler Ersatzstoffe in Aquakulturen

Forschungseinrichtung/-gruppe ³⁴ und Projektdauer	untersuchte Fischarten	Forschungsfragen, -ziele	erwartete bzw. bereits vorhandene Ergebnisse
PEPPA (EU-Programm): Perspectives of Plant Protein Usage in Aquaculture ³² Beginn: 1.12.2000 Dauer: 36 Monate	Regenbogenforelle, Goldbrasse	Ersatz von Fischmehl durch pflanzliche Proteinquellen: Auswirkungen der vegetabilen Ersatzstoffe auf Muskelproteinzunahme, Fischfleischqualität, Tiergesundheit und Fortpflanzungsvermögen; Überlegungen zu ökologischen und sozio-ökonomischen Aspekten ³⁵³⁶	Regenbogenforelle: Vollständiger Ersatz von Fischmehl durch pflanzliche Proteinträger ⇒ verminderte Futteraufnahme und Ungleichgewicht des N-Stoffwechsels. Empfindlichkeit für die in Sojaprodukten enthaltenen Phytoöstrogene. Goldbrasse: Ungünstiges Aminosäurenmuster beeinflusst Ammoniak-N- Ausscheidung und Proteinretention. Weniger empfindlich für Phytoöstrogene. Beide Fischarten: Pflanzliche Proteine ⇒ Immunstimulans und antioxidativer Effekt. ⇒: Pflanzliche Proteinträger sind eine Alternative zu Fischmehl, Probleme wie enthaltene antinutritive Substanzen sind noch zu lösen. ³⁵

³⁴ Im folgenden sind nur die Projektkoordinatoren angegeben, nicht die Projektpartner.

³⁵ URL: http://www.europa.eu.int/comm/research/quality-of-life/ka5/en/projects/qlrt_1999_30068_en.htm [Stand: 18.08.2005].

³⁶ Die im Rahmen des Projektes erhobenen Daten dienen als Grundlage für ein verbessertes Verständnis des Aminosäurestoffwechsels und der Nutzung von Kohlenhydraten als Energiequelle bei carnivoren Fischarten.

3 Produktion und Verwendung von Fischfutter: Status quo und derzeitige Alternativen

Fortsetzung Tabelle 6: Auswahl an Forschungsarbeiten in Europa zum Einsatz vegetabiler Ersatzstoffe in Aquakulturen

Forschungseinrichtung/-gruppe ³⁷ und Projektdauer	untersuchte Fischarten	Forschungsfragen, -ziele	erwartete bzw. bereits vorhandene Ergebnisse
GUTINTEGRITY (EU-Programm): Gastrointestinal Functions and Food Intake Regulation in Salmonids: Impact of Dietary Vegetable Lipids ³² Beginn: 1.1.2001 Dauer: 36 Monate	für die europäische Aquakultur bedeutende Fischarten (Lachs, Regenbogenforelle)	Datenermittlung für die quantitative und qualitative Einbindung vegetabiler Öle bei der Fütterung lachsartiger Fische (Erhebungen zu physiologischen Funktionen im Darmtrakt, einschließlich Absorptionsprozesse, Nährstoffaufnahme, Darmmikroflora, Beeinflussung der Futteraufnahme durch Fette, Tiergesundheit). ³⁸	Reaktion der Fische auf extreme Rationen, die nur vegetabile Öle als Fettquelle enthalten: keine Beeinflussung des Fischwachstums, aber Auswirkungen auf die Funktion des Darmepithels (Abschwächung der Barrierenfunktion). Schwächung der Resistenz (erhöhte Anfälligkeit für bakterielle Infektionen wie die Furunkulose) und Erhöhung der passiven Permeabilität. Zudem Fettakkumulation in den Darmzellen im vorderen Darmtrakt, die in schweren Fällen zum Zelltod führen kann. Fazit der Fütterungsversuche: vegetabile Öle (v.a. Raps- und Sonnenblumenöl) stören die Abgrenzungsfunktion des Darmepithels. Wachstum und Futteraufnahme werden durch die Fütterung vegetabiler Öle nicht vermindert. ³⁸
PUFAFEED (EU-Programm): Feed for aquatic animals that contains cultivated marine microorganisms as alternatives for fish oil ³² Beginn: 1.12.2000 Dauer: 36 Monate	Fütterung von Lachs und Goldbrasse mit marinen Mikroalgen	Marine Mikroalgen: hohe Gehalte mehrfach ungesättigter Fettsäuren, Eignung als Futterzusatz in der Aquakultur, Verfügbarkeit begrenzt. Ziel daher: Entwicklung effizienter Produktionsprozesse für diese mikrobielle Biomasse, ihre Einbringung in das Fischfutter, Auswirkungen auf die Gesundheit der Fische sowie die ökonomische Bewertung ³⁹	Derzeit ist die Optimierung der DHA-Produktion durch <i>C. cohnii</i> im Labor fast vollendet. Fütterungsversuche zeigen die generelle Eignung als Fischfutter auf. Der komplette Produktionsprozess (Kultivierung, Homogenisierung, Sprühtrocknung, Futterzubereitung) kann durchgeführt werden. Keine toxischen Effekte festgestellt, allerdings ist eine Vorbehandlung der Biomasse von <i>C. cohnii</i> nötig, um eine Aufnahme bei Fischlarven zu erreichen. Öl von <i>C. cohnii</i> enthält bis zu 35% DHA und ist bei Raumtemperatur stabil ³⁹ .

³⁷ Im folgenden sind nur die Projektkoordinatoren angegeben, nicht die Projektpartner.³⁸ URL: http://www.europa.eu.int/comm/research/quality-of-life/ka5/en/projects/qirt_1999_31656_en.htm [Stand: 18.08.2005].³⁹ URL: http://www.europa.eu.int/comm/research/quality-of-life/ka5/en/projects/qirt_1999_30271_en.htm [Stand: 18.08.2005].

3 Produktion und Verwendung von Fischfutter: Status quo und derzeitige Alternativen

Fortsetzung Tabelle 6: Auswahl an Forschungsarbeiten in Europa zum Einsatz vegetabiler Ersatzstoffe in Aquakulturen

Forschungseinrichtung/-gruppe ⁴⁰ und Projektdauer	untersuchte Fischarten	Forschungsfragen, -ziele	erwartete bzw. bereits vorhandene Ergebnisse
Koordinator: S.J. Kaushik, Institut National de la Recherche Agronomique, Laboratoire de Nutrition des Poissons, Frankreich ⁴¹ Beginn: 1.11.1998 Dauer: 36 Monate	Knochenfische: Regenbogenforelle, Wolfsbarsch, Seebrasse, Steinbutt	Reduktion der N-Ausscheidung durch eine Optimierung der Aminosäuren-Balance. Aufklärung der N-Stoffwechselwege bei den betrachteten Fischarten. Besondere Betrachtung von Arginin (für Fische essentielle Aminosäure).	Bestimmung des Aminosäurebedarfs für Erhaltung und Wachstum, Betrachtung der Ammoniak- und Harnstoffausscheidungen, Bestimmung der Aktivität von Schlüsselenzymen für die Oxidation von Aminosäuren und der Harnstoffsynthese, Messung der Proteinzunahme und des Proteinabbaus. Aufgrund dieser Daten soll eine optimierte Fischfütterung im Hinblick auf die Proteinnutzung entwickelt werden.
Koordinator: S.J. Kaushik, Institut National de la Recherche Agronomique, Centre de Recherche de Bordeaux, Aquitaine Station d'Hydrobiologie et de la Faune Sauvage, Frankreich ⁴¹ Beginn: 1.1.1996 Dauer: 36 Monate	Regenbogenforelle, gemeiner Karpfen, Goldbrasse	Verbesserte Kohlenhydratnutzung bei Fischen: Betrachtung der physiologischen, metabolischen, molekularen und genetischen Begrenzungen wechselwarmer Arten. Quantitative Bewertung der vorteilhaften Effekte verschiedener Aufbereitungstechnologien zur Verbesserung der Stärkeverdaulichkeit.	Fütterungsversuche mit juvenilen und adulten Fischen, Rationen, die entweder extrudierte Erbsen oder extrudierten Weizen beinhalten. Gehalte an Plasmaglucoose und Insulin nach der Fütterung: Vermutung: geringerer Einfluss der Glucose in der Nahrung als bisher angenommen. Geringer Anteil der Glucose geht in die Fettsynthese.
Koordinator: Prof. Valfré, Università degli Studi di Milano, Istituto di Zootechnica, Italien ⁴¹ Beginn: 1.1.1997 Dauer: 36 Monate	Einfluss der Aufbereitungstechnologie auf die Fischfutterqualität	Hauptziel: Bestimmung der Zuverlässigkeit verschiedener chemischer Methoden und der NIR-Technik zur Vorhersage der Proteinverdaulichkeit von Futtermitteln für Fische in der Aquakultur	Neue, effiziente chemische, physikalische oder biologische Methoden zur Bestimmung der Proteinqualität der Futtermittel für die Aquakultur erlauben es, Futtermittel mit besseren, kontrollierten Proteinwerten einzusetzen und führen so zu einer verbesserten Fütterungspraxis. Unter Laborbedingungen sind mittlerweile geeignete Methoden vorhanden.

⁴⁰ Im folgenden sind nur die Projektkoordinatoren angegeben, nicht die Projektpartner.

⁴¹ European Commission 2001

3 Produktion und Verwendung von Fischfutter: Status quo und derzeitige Alternativen

Fortsetzung Tabelle 6: Auswahl an Forschungsarbeiten in Europa zum Einsatz vegetabiler Ersatzstoffe in Aquakulturen

Forschungseinrichtung/-gruppe ⁴² und Projektdauer	untersuchte Fischarten	Forschungsfragen, -ziele	erwartete bzw. bereits vorhandene Ergebnisse
FORM (EU-Projekt): Koordinator: Prof. Lie, Institute of Nutrition and Seafood Research (NIFES), Norwegen ³² Beginn: 1.11.2002 Dauer 48 Monate	Etablierung von thematischer Netzwerkarbeit	Basierend auf den EU-Programmen: Bildung eines thematischen Netzwerkes zum Ersatz von Fischmehl und Fischöl (einschließlich einmal jährlich stattfindender Netzwerktreffen (ab 2003), Internetplattform ⇒ Effiziente Ressourcennutzung durch Vermeidung von Duplikationen, Maximierung des Informationsaustausches und der Synergien zwischen den Programmen. ⁴³	Bisher zwei Netzwerktreffen durchgeführt, Bereitstellung von Informationen auf der Internetseite: www.FORMnetwork.net . ¹¹
Dissertation von Corina Moya-Falcón, Norwegian University of Life Sciences (UMB) in Ås, Norwegen ⁴⁴ Ende: 2005	Lachs	Betrachtung des Fettsäure-Stoffwechsels (unter besonderer Berücksichtigung vegetabiler Öle als Fettquellen)	Im Fischfutter enthaltene vegetabile Öle begünstigen eine erhöhte Selbstsynthese der Fische von langen, ungesättigten Fettsäuren. Mit der Dissertation liegen nun tiefergehende Kenntnisse darüber vor, auf welche Weise Fett aus alternativen (vegetabilen) Quellen in den Fischen verstoffwechselt wird. Mehrere Faktoren sind hierbei relevant, z.B. die Wassertemperatur.
University of Murcia, Department of Animal Physiology, Faculty of Biology, Spanien ² Beginn: Oktober 2001 Ende: März 2005		Futteraufnahmeverhalten: selektive Nahrungsauswahl der Fische ⇒ Produktion von Futtermitteln, die den Bedürfnissen und den Regulationsmechanismen der Fische besser entsprechen ⇒ Förderung der Tiergesundheit und verminderte Ausscheidung von Abfallstoffen ⁴⁵ .	Datengrundlage zur Unterstützung der anderen Forschungsprogramme, Etablierung eines Rahmenwerkes zum Nahrungsauswahlverhalten der Fische, Kenntnisse der Makronährstoffpräferenzen von Fischen in unterschiedlichen Habitaten ⇒ neue Konzepte für Aquakultur und Futtermittelherstellung.

⁴² Im folgenden sind nur die Projektkoordinatoren angegeben, nicht die Projektpartner.⁴³ URL: <http://www.formnetwork.net/hoved.asp?k=54> [Stand: 18.08.2005].⁴⁴ URL: <http://www.akvaforsk.no/english/index.html> [Stand: 09.08.2005].⁴⁵ URL: <http://www.um.es/selfish/project.htm> [Stand: 18.08.2005].

3 Produktion und Verwendung von Fischfutter: Status quo und derzeitige Alternativen

Tabelle 7 und Tabelle 8 zeigen eine Auswahl an Literatur zum Einsatz vegetabiler Ersatzstoffe in der Aquakultur, getrennt aufgeführt nach herbi- bzw. omnivoren und carnivoren Fischarten.

Tabelle 7: Studien zu vegetabilen Ersatzstoffen in der Aquakultur von herbi- und omnivoren Arten.

Fischart	Ersatzstoffe	Quelle / Ergebnisse
Jungfische von <i>Tilapia rendalli</i> (Boulanger, 1986)	Sonnenblumenkernmehl	Olvera-Novoa et al. (2002): bei 10-20% Rationsanteil des Pflanzenproteins: beste Resultate hinsichtlich Wachstum und Futtereffizienz, bei höherem Substitutionsniveau: Wachstumsdepression (Mangel an essentiellen Aminosäuren und hoher Gehalt unverdaulicher Ballaststoffe)
Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i> Linn)	lang- und kurzfaserige Sonnenblumenkernpresskuchen und -öl	Maina et al. (2003): Auswirkungen des Ersatzes von Fischmehl mit Sonnenblumenpresskuchen auf das Fettsäuremuster im Fischkörper, 2 Referenzgruppen: Fütterung mit Fisch- und Sojamehl. Fazit: Rationszusammensetzung beeinflusst erheblich das Fettsäuremuster im Fischkörper. Die Sonnenblumenfütterung bewirkt erhöhtes Vorkommen von Linolsäure und Rückgang der Omega 3-Fettsäuren (EPA, DHA). Kontrolle: höhere Gehalte an Omega 3-Fettsäuren. Ernährungsphysiologische Bedeutung dieser Fettsäuren: Konsequenzen hinsichtlich der ernährungsphysiologischen Bedeutung des Fischfleisches für die Verbraucher müssen diskutiert werden.
Roter Hybridtilapia (<i>Oreochromis sp.</i>)	Palmkernmehl (mit Enzymen vorbehandelt oder fermentiert mit dem Pilz <i>Trichoderma koningii</i> (Oudemans))	Ng et al. (2002): Untersuchung der Effekte einer enzymatischen Vorbehandlung oder der pilzlichen Fermentation auf den Nährwert des Palmkernmehls bei Verfütterung an den Roten Hybridtilapia, bei einem Rationsanteil des Palmkernmehls von 20 und 40% (bezogen auf die Trockenmasse). Bei einem Rationsanteil von 40% zeigen sich positive Effekte der Enzymbehandlung. Die Fermentation mit dem Pilz führt vermutlich aufgrund antinutritiver Substanzen zu den geringsten Wachstumsraten. Fazit: bei 20% Anteil in der Ration kein Effekt der Enzymvorbehandlung, aber durch die Behandlung mit Enzymen kann der Anteil des Palmkernmehls im Fischfutter erhöht werden.
Australischer Silberbarsch (<i>Bidyanus bidyanus</i> Mitchell)	verschiedene Stärkeprodukte zur Rationsergänzung (Weizen, Mais, Kartoffel) Maisquellstärke (15% Rationsanteil), hitze- und nicht hitzebehandelte Stärkeprodukte (30% Rationsanteil)	Stone et al. (2003): unterschiedliche Verdaulichkeiten (vom höchsten zum gering verdaulichsten Stärkeprodukt): Referenz > Weizen > Mais > Kartoffel; Hitzebehandlung erhöht die Verdaulichkeit signifikant hinsichtlich Trockenmasse und Energiegehalt, aber nicht im Hinblick auf Wechselwirkungen mit der Proteinverdaulichkeit, Maisquellstärke besser verdaulich als andere Stärkeprodukte. Fazit: erfolgreicher Einsatz der Stärkeprodukte in der Fischfütterung ist abhängig vom Ausgangsmaterial und von der Vorbehandlung der Stärke.

3 Produktion und Verwendung von Fischfutter: Status quo und derzeitige Alternativen

Fortsetzung Tabelle 7: Studien zu vegetabilen Ersatzstoffen in der Aquakultur von herbi- und omnivoren Arten

Fischart	Ersatzstoffe	Quelle / Ergebnisse
Jungfische indischer Karpfenarten (<i>Cirrhinus mrigala</i> , <i>Labeo rohita</i>)	Samen (unbehandelt und hydrothermisch vorbehandelt) von Sojabohne (<i>Glycine max</i>), Mungbohne (<i>Vigna radiata</i>), Augenbohne (<i>Vigna unguiculata</i>) und Büschelbohne (<i>Cyamopsis tetragonaloba</i>)	Garg et al. (2002): Vorbehandlung der Samen: 15 minütige Hitzebehandlung reduziert die Aktivität der Trypsin-Hemmstoffe signifikant (Trypsin = Enzym zur Eiweißverdauung). Das signifikant höchste Wachstum bei der Verwendung nicht vorbehandelter Bohnen wurde bei Fütterung der Mungbohne festgestellt, gefolgt von der Soja-, der Augen- und der Büschelbohne. Bei Vorbehandlung der Bohnen wurde mit der Fütterung von Sojabohnen das beste Fischwachstum erzielt. Die hydrothermische Vorbehandlung hat zudem positive Effekte auf die Futtermittelverwertung und -effizienz, ebenso wie auf die Protein- und Energieausnutzung und auf die Ammoniakausscheidungen.

Tabelle 8: Studien zu vegetabilen Ersatzstoffen in der Aquakultur von carnivoren Arten.

Fischart	Ersatzstoffe	Quelle / Ergebnisse
verschiedene Fisch- und Krabbenarten: Regenbogenforelle Seebrassen, Flundern Krabben	Soja (entfettet), Rationsanteile: 12-75 30-50 94	Watanabe (2002): Verdaulichkeit der vegetabilen Ersatzstoffe wird durch Extrudieren erhöht. Unterschiedliche Ergebnisse bei den verschiedenen Arten, beispielsweise weist die Sojabohne für Krabben eine hohe Proteinverdaulichkeit auf. Fütterungsstudien an Fischen kommen zu unterschiedlichen Ergebnissen hinsichtlich Wachstum und Futtermittelverwertung. Anforderungen an Ersatzstoffe für Fischmehl: optimales Aminosäuremuster, Gehalte an mehrfach ungesättigten Fettsäuren, hohe Nährstoffdichte. Weitere Anstrengungen sind nötig hinsichtlich der Verbesserung des Nährwertes (Proteinverdaulichkeit), um die Tiergesundheit nicht zu beeinträchtigen.
Regenbogenforelle (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	Zusatz von Mineralstoffen in Form von Aminosäure-Chelaten bei Rationen, die Tricalciumphosphat und Phytat enthalten	Apines et al. (2003): Die Verfügbarkeit von Spurenelementen ist signifikant von der chemischen Form abhängig, in der die Fische sie erhalten. Spurenelemente in Aminosäuren-Chelaten stellen sich selbst bei der Anwesenheit von Tricalciumphosphat und Phytat im Hinblick auf die Verfügbarkeit positiver dar als die untersuchten anorganischen Quellen der Spurenelemente.
Getüpfelter Gabelwels (<i>Ictalurus punctatus</i>)	Hitzebehandlungen von entfettetem Sojabohnenmehl	Peres et al. (2003): Untersuchung des Effektes der Hitzebehandlung von entfettetem Sojabohnenmehl auf Wachstum, Hämatologie und Immunreaktion. Die 40minütige Hitzebehandlung verbesserte den Nährwert des Sojabohnenmehls für die Fische, führte zu erhöhten Gehalten an Plasma-Lysozym und -Protein. Jedoch konnten negative Effekte hinsichtlich der Immunreaktion festgestellt werden (hinsichtlich verminderter Makrophagen-Chemotaxis und vermindertem Antikörper-Gehalt).

3 Produktion und Verwendung von Fischfutter: Status quo und derzeitige Alternativen

Fortsetzung Tabelle 8: Studien zu vegetabilen Ersatzstoffen in der Aquakultur von carnivoren Arten

Fischart	Ersatzstoffe	Quelle / Ergebnisse
juvener Lachs (<i>Salmo salar</i> L.)	hydrolysierte Kartoffelstärke (Rationsanteil 5-10%)	Hemre et al. (2000): bei restriktivem Fütterungsregime (1,4-2,0% des Körpergewichts pro Tag bei gleichen Gehalten an Protein und Fett) kam es entgegen der Erwartungen nicht zu einer Wachstumsstimulation im Vergleich zur Kontrollgruppe, die keine Stärke als Fütterungsergänzung erhielt. Negative Effekte auf die Fischgesundheit konnten nicht festgestellt werden, mit zunehmendem Stärkeanteil in der Ration ging allerdings die Futterausnutzung zurück und die <i>de novo</i> Fettsynthese nahm zu.
Atlantik-Lachs (<i>Salmo salar</i> L.)	verschiedene Sojaprodukte (Konzentrat, flüssig-extrahiertes Sojamehl, Soja-Melasse, mit Alkohol extrahiertes Sojamehl)	Krogdahl et al. (2000): Bei der Fütterung von Sojamehl und Sojamelasse traten Darmentzündungen auf, die bei den mit Sojakonzentrat und bei den mit Fischmehl gefütterten Fischen nicht festgestellt wurden. Analog hierzu zeigten sich signifikante Unterschiede in der Mortalität zwischen den verschiedenen Fütterungsgruppen. Fazit: Sojamehl und Sojamelasse führen zu entzündlichen Prozessen im Darmtrakt, welche die Anfälligkeit für Furunkulose erhöhen.
Atlantik-Lachs (<i>Salmo salar</i> L.)	Linsen- und Rapsöl: Wiederherstellung des Fettsäuremusters durch Endmast mit Fischöl	Bell et al. (2002): Lachse können in der Meerwasserphase ihres Lebenszyklus erfolgreich mit Linsen- und Rapsöl gefüttert werden. Dies führt zu einer Reduktion der 20:5 (n-3) und der 22:6 (n-3) Fettsäuren im Fleisch der Fische. Eine teilweise Wiederherstellung des ursprünglichen Fettsäuremusters ist durch die Fütterung von marinem Fischöl in der Endmast möglich.
Atlantik-Lachs (<i>Salmo salar</i> L.)	Ersatz von 10-50% der üblichen Fischölmenge durch Rapsöl	Bell et al. (2003): Rapsöl kann Fischöl bei der Lachsfütterung erfolgreich ersetzen. Übersteigt der Anteil des Rapsöls 50% des Fettanteils in der Ration, kommt es zu einer Verminderung der mehrfach ungesättigten Fettsäuren im Muskelfleisch der Fische. Die Konsequenzen für die menschliche Gesundheit sollten bedacht werden.

Karpfen und Tilapia sind diejenigen Fischarten, die weltweit am häufigsten in Aquakulturen gehalten werden. In Asien, v.a. in China, findet die größte Aquakulturproduktion statt. Zumeist handelt es sich um eine traditionelle und ökologisch unbedenklichen Karpfenzucht, die häufig in den Reisanbau integriert ist. Die Tiere in diesen extensiven Aquakulturen kommen ebenso wie die Mollusken in Aquakulturen (z.B. Miesmuscheln und Austern) ohne besondere Zufütterung aus (Fischer 2000). Die überwiegend herbivoren Fischarten werden in Asien auch nachgefragt, in der westlichen Welt jedoch gilt der Karpfen als grätenreich und Tilapia ist hier eine noch weitgehend unbekannte Fischart. Vielmehr besteht eine große Nachfrage nach Lachs und Forelle (Powell 2003). In Europas Aquakulturen geht der Trend daher zur Haltung dieser carnivoren Fischarten wie Lachs, Forelle, Wolfsbarsch, Thunfisch und jüngst auch Kabeljau (Tuominen und Esmark 2003).

Wie die in Tabelle 7 und Tabelle 8 aufgeführten Studien zur Fütterung mit vegetabilen Ersatzstoffen zeigen, gibt es Grenzen bei einer diesbezüglichen Rationsgestaltung (z.B. Gehalt an essentiellen Aminosäuren, Fettsäuremuster in den Fischen, Vorbehandlung zur Erhöhung der Verdaulichkeit nötig). Besonders für carnivore Fischarten weisen pflanzliche Proteinquellen ungeeignete Aminosäuremuster und eine schlechte Proteinverdaulichkeit auf (Naylor et al. 2000). Einige dieser problematischen Aspekte werden im folgenden näher erläutert.

Die Trockenmasse von Futtermitteln bestehen zu einem großen Teil aus den organischen Makronährstoffen Proteine, Fette und Kohlenhydrate. Die Proteinkomponente ist bei den Futterrationen der Aquakultur der wichtigste und teuerste Nahrungsbestandteil (Watanabe 2002). Der Proteingehalt von Fischmehl liegt in der Regel bei 60-75%, der Mineralstoffgehalt bei 10-20% und der Fettanteil bei 5-10-% (Jobling et al. 2001). Heutige Rationen weisen eine Zusammensetzung von 35-45% Fischmehl und 15-38% Fischöl auf; zudem sind Bindemittel (Soja und Mais), vegetabile Öle, Vitamine, Carotinoide und Additive wie Antioxidantien in den Rationen enthalten (Teufel 2004). Watanabe (2002) gibt mit 20-60% eine breitere Spanne des Fischmehlanteils in den derzeitigen Futterrationen an.

Vegetabile Ersatzstoffe für Fischmehl

Viele pflanzliche Proteine haben das Potential, Fischmehl in den Rationen zu ersetzen. Als zusätzliche Proteinquellen wurden in den letzten Jahren Sojabohnen sowie Gluten von Mais und Weizen genutzt. Sojabohnen weisen zudem einen hohen Stärkegehalt auf und dienen daher auch als Bindemittel bei der Futtermittelformulierung (Tuominen und Esmark 2003). Ebenso können andere Ölsaaten wie Raps- und Sonnenblumensaat und weitere Leguminosen wie Bohnen, Erbsen und Lupinen als Futtermittel in Aquakulturen verwendet werden (New und Wijkström 2002). In manchen Aquakulturen bekommen die Lachse heute

bereits die Hälfte ihres Bedarfes an Proteinen und Ölen aus vegetabilen Ersatzstoffen (Powell 2003). Neben dem Proteingehalt sind auch das Aminosäuremuster (essentielle AS) und möglicherweise enthaltene antinutritive Substanzen einer vegetabilen Proteinquelle entscheidend für ihre Verwendung in der Aquakultur (Watanabe 2002).

Von den zahlreichen pflanzlichen Proteinquellen wird das Mehl aus entfetteten Sojabohnen aufgrund seiner Aminosäurezusammensetzung mittlerweile allgemein als geeignete Futtermittelkomponente angesehen. Durch alternative Proteinquellen wie entfettetes Soja oder Getreide-Gluten kann der Anteil von Fischmehl in den Rationen um bis zu 40% vermindert werden. Fütterungsversuche zeigen allerdings unterschiedliche Ergebnisse im Hinblick auf Wachstum und Futtereffizienz, die ein Indiz dafür sind, dass auf einen erfolgreichen Ersatz des Fischmehls Faktoren wie die Fischart, Fischgröße, die weiteren Futtermittelinhaltsstoffe sowie die Formulierung des Futtermittels wirken. Fütterungsstudien an Regenbogenforellen ergaben für Sojamehl eine Proteinverdaulichkeit von 84-94%, bei einem Anteil in der Ration von 12-75%. Bei der Roten Seebrasse betrug die Proteinverdaulichkeit des Sojamehls 91-93% bei einem Rationsanteil von 30-50% (Watanabe 2002).

Hardy (2000) charakterisiert Weizen-Gluten als ausgezeichnete Proteinquelle, die eine hohe Verdaulichkeit für Fischarten wie Regenbogenforelle und Lachs aufweist. Bis zu 25% des Fischmehls können durch Weizen-Gluten ersetzt werden, ohne dass negative Effekte hinsichtlich Wachstum und Futtereffizienz auftreten. Der hohe Preis des Weizen-Glutens, das in erster Linie direkt für den menschlichen Verzehr produziert wird, verhindert seinen breiten Einsatz in der Aquakultur. Eine weitere ausgezeichnete Proteinquelle stellt Mais-Gluten dar, dessen Mindestproteingehalt von 60% eine Verdaulichkeit von 97% bei Regenbogenforellen aufweist. Mais-Gluten kann Fischmehl bis zu einem Grad von 25-40% ohne negative Effekte ersetzen. Der Hauptnachteil von Mais-Gluten ist, dass es bei höheren Substitutionsgraden dem Fischfleisch eine Gelbfärbung verleiht.

Als weitere Proteinquellen für die Aquakultur führt Hardy (2000) Nebenprodukte aus der Back- und Brauindustrie an. Die Proteinqualität der Back- und Brauhefe (*Saccharomyces*) kann in Futterrationen für Regenbogenforellen durch Vorbehandlung erhöht werden. Erfolgt diese Vorbehandlung zur Zerstörung der Zellwände, können bis zu 50% der Proteinkomponente in der Ration für Regenbogenforellen durch Hefe ersetzt werden. Begrenzte Verfügbarkeit und hohe Kosten stehen allerdings einer verstärkten Nutzung von Hefe in der Aquakultur entgegen.

Beim Einsatz von Sojabohnen als Proteinquelle können die verschiedenen enthaltenen antinutritiven Substanzen die Schmackhaftigkeit, die Proteinnutzung und das Fischwachstum

verringern. Hitzeempfindliche antinutritive Substanzen wie z.B. Trypsin-Hemmstoffe können durch Hitzebehandlungen ausgeschaltet werden. Wird eine entsprechende Vorbehandlung durchgeführt, kann die Futtermittelration für Welse 45-50% Sojabohnenmehl und weniger als 10% Fischmehl enthalten (Hardy 2000). Neben den antinutritiven Substanzen stellt das Aminosäuremuster der vegetabilen Ersatzstoffe ein Problem dar, denn pflanzliche Proteinquellen enthalten im Gegensatz zu Fischmehl nicht in einem ausreichenden Maß essentielle Aminosäuren wie Lysin, Methionin und Phenylalanin (Watanabe 2002).

Fischmehl enthält Taurin, eine Aminosäure, die aus den essentiellen schwefelhaltigen Aminosäuren Cystein und Methionin gebildet wird und nur zu einem geringen Anteil in pflanzlicher Nahrung vorhanden ist. Marine Fische können Taurin nicht selbst synthetisieren; bei Rationen, die völlig auf Fischmehl verzichten, kann daher der Mangel an Taurin problematisch werden. Aus diesem Grund wird die Kombination von vegetabilen Ersatzstoffen wie Soja und Getreidegluten mit tierischen Nebenprodukten wie z.B. Fleischmehl bei der Fütterung in Aquakulturen als sinnvolle Rationsergänzung angesehen (Watanabe 2002). Hardy (2000) gibt allerdings zu bedenken, dass Stoffe wie Fleisch-, Knochenmehl und Mehl aus Nebenprodukten der Geflügelerzeugung schwankende Qualität und hohe Mineralstoffgehalte aufweisen sowie in anderen Agrarsektoren komplett verbraucht werden. Für das Ersetzen eines großen Anteils des Fischmehls in der Ration hält Hardy (2000) diese Stoffe für nicht geeignet, allerdings betont auch er die Rationsergänzung mit tierischen Nebenprodukten aufgrund der günstigen Aminosäurezusammensetzung. Im Hinblick auf die Verwendung von Fleisch- oder Knochenmehl als Futtermittel verweisen New und Wijkström (2002) auf die TSE-Problematik (TSE = transmissible spongiform encephalopathy) und das damit verbundene Gefühl einer Bedrohung für die menschliche Gesundheit⁴⁶.

Wie die Fütterungsstudie an Lachsen von Krogdahl et al. (2000) zeigt, hat neben Parametern wie Aminosäuremuster und antinutritiven Substanzen auch die Formulierung des Futtermittels Einfluss auf die Tiergesundheit. Beim Vergleich der Effekte von Rationen mit Sojakonzentrat, Sojamehl und Sojamelasse (Alkoholextrakt von Sojamehl) zeigte sich, dass die Formulierung als Mehl oder Melasse Veränderungen im distalen Darmtrakt auslösen kann, die einer Enteritis (Darmentzündung) gleichen. In der mit Fischmehl gefütterten Vergleichsgruppe und bei der Fütterung mit Sojakonzentrat wurden dies nicht beobachtet.

⁴⁶ Wissenschaftler der Ludwigs-Maximilian-Universität in München haben in Zusammenarbeit mit Forschern des Robert-Koch-Institutes in Berlin 2003 das Gen für ein Prion-Protein beim Lachs entschlüsselt. Prion-Proteine stehen im Zusammenhang mit „transmissiblen spongioformen Enzephalopathien“ (idw 13.03.2003). Die Bildung von Prionen-Proteinen ist die Voraussetzung dafür, dass Fische an TSE erkranken können und unter Umständen auch als Überträger von TSE fungieren können.

Bei der mit Sojamelasse gefütterten Fischgruppe wurden zudem erhöhte Werte von Lysozym und IgM (Immunglobulin/Antikörper der Klasse M) in der mittleren und distalen Darmschleimhaut gemessen. Die Autoren schließen hieraus, dass Komponenten von Sojamehl und -melasse Entzündungen im Darmtrakt hervorrufen können, die zu einer erhöhten Anfälligkeit der Fische für Furunkulose führen. Furunkulose (*Aeromonas salmonicida*) ist eine bakterielle Infektionskrankheit, von der besonders Salmoniden betroffen sind⁴⁷.

Vegetabile Ersatzstoffe für Fischöl

Triglyceride und Phospholipide sind wichtige Komponenten bei der Rationsgestaltung für Fische in Aquakulturen, zudem muss die Ration den Bedarf an essentiellen Fettsäuren abdecken. Fette können in der Regel von Fischen gut verdaut werden. Bei einer Rationsgestaltung mit einem Fettanteil von mehr als 30% zeigen sich ausgezeichnete Ergebnisse bei der Lachs- und Forellenhaltung; dies lässt auf eine gute Ausnutzung der Fette schließen. Enthält eine Ration nicht genügend essentielle Fettsäuren, kommt es zu vermindertem Fischwachstum und schlechterer Futtereffizienz (Teufel et al. 2002).

Fischöl stellt derzeit die Hauptquelle für die Fettsäuren in den Rationen dar, die essentieller Bestandteil der Futterrationen in Aquakulturen sind. Gerade für die mehrfach ungesättigten, essentiellen Fettsäuren wie EPA (eicosapentaenoic acid) und DHA (docosahexanoic acid), die in pflanzlichen Ölen nicht nachgewiesen worden sind, stellt Fischöl eine gute Quelle dar (Watanabe 2002). Allerdings kann sicherlich ein Teil des derzeitigen Fischölanteils in den Rationen durch vegetabile Ersatzstoffe substituiert werden. Viele der vegetabilen Ersatzstoffe für Fischmehl können zum Teil auch das Fischöl in den Rationen ersetzen (New und Wijkström 2002). Als Ersatzstoffe für Fischöl bieten sich Raps- und Leinsamen sowie Palm- und Sojaöl an. In Futterrationen für Lachse mit hoher Energiedichte können bis zu 50% des Fischöls mit Raps-, Linsen-, Palm- oder Sojaöl ersetzt werden, ohne dass signifikante Effekte hinsichtlich Wachstum, Überlebensrate oder anderer Parameter, die im Fischkörper gemessen werden, auftreten. Watanabe (2002) hält einen Ersatz von 50-60% des Fischöls durch Palmöl für gut praktikierbar. Die Fütterung vegetabler Ersatzstoffe wirkt sich allerdings deutlich auf das Fettsäuremuster der gehaltenen Fische und zum Teil auch auf den Gesamtfettgehalt der Fische aus (New und Wijkström 2002; Olvera-Novoa et al. 2002; Maina et al. 2002; Watanabe 2002).

⁴⁷ Bei akuter Furunkulose treten innere Blutungen und Glotzaugen auf, die chronische Form ist an den Rötungen der Flossenansätze bzw. an zerfransten Flossen zu erkennen. Bei der Darmfurunkulose ist die Darmschleimhaut entzündet, es befindet sich Blut im Darm und aus dem After hängen Schleim- oder Koffäden. Die Krankheit tritt fast ausschließlich in Zuchtbetrieben auf.

Die Fettverdaulichkeit bei Kaltwasserfischen hängt vom Schmelzpunkt der Fette ab. Bei Regenbogenforellen liegt die Fettverdaulichkeit bei etwa 90%, wenn die Fettquellen reich an ungesättigten Fettsäuren sind, der Schmelzpunkt also bei Raumtemperatur liegt. Bei höherliegenden Schmelzpunkten geht die Verdaulichkeit rasch zurück, gesättigte Fettsäuren sind für die Fische somit sehr viel schlechter verdaulich und werden auch schlechter absorbiert als ungesättigte Fettsäuren (Opsahl-Ferstad et al. 2003).

Palmöl weist beispielsweise einen vergleichsweise niedrigen Gehalt an ungesättigten Fettsäuren auf. Die *in vivo* Peroxidation wird damit reduziert. Vorteilhaft hierbei sind die ansteigenden Gehalte von Vitamin C und E in Muskeln und Leber, wodurch der Gesundheitsstatus der Fische verbessert werden kann. Allerdings sinkt der Gehalt an den ernährungsphysiologisch bedeutenden mehrfach ungesättigten, längerkettigen Fettsäuren (Watanabe 2002).

Öle von Ölsaaten sind für die praktische Gestaltung der Fischrationen geeignet, da sie ungesättigte C18-Fettsäuren aufweisen, allerdings fehlen ihnen die längerkettigen n3 ungesättigten Fettsäuren, die in Fischöl vorkommen. Watanabe (2002) und Opsahl-Ferstad et al. (2003) beurteilen pflanzliche Fette daher als gute Energiequelle zur Proteineinsparung, betonen aber das Problem des Mangels an längerkettigen, mehrfach ungesättigten Fettsäuren. Der Bedarf an essentiellen Fettsäuren ist bei den verschiedenen Fischarten sehr unterschiedlich, der Zusatz von Fischöl zur Abdeckung der essentiellen Fettsäuren (wie EPA und DHA) wird aber generell als sinnvoll erachtet. Opsahl-Ferstad et al. (2003) berichten von schweren Herzläsionen und einer erhöhten Anfälligkeit für den Transportschock bei Forellen, wenn es zu einem Ungleichgewicht in der Fettsäurezusammensetzung kommt.

Einsatz von Stärkeprodukten

Kohlenhydrate sind bei der Rationsgestaltung in der Fischfütterung nicht unerlässlich, allerdings stellen sie eine billige Energiequelle dar (Teufel et al. 2002). Proteine können so durch die Nutzung anderer Energiequellen wie Kohlenhydrate eingespart werden. Die Verminderung des Proteingehaltes in den Rationen führt zu einer Minderung der N-Belastung durch Aquakulturen und sollte daher angestrebt werden (Watanabe 2002). Neben ihrem Nutzen als günstige Energiequelle fungieren Kohlenhydrate als Bindemittel in den Pellets (Stone et al. 2003).

Die zunehmende Verwendung vegetabiler Ersatzstoffe als alternative Proteinquelle in der Fischfütterung führt zu einem Anstieg des Kohlenhydratgehaltes, besonders Stärke, in den Rationen (Stone et al. 2003). Problematisch hierbei ist, dass Fische komplexe Kohlenhydrate nur zu einem geringen Teil verdauen können. Die Verdaulichkeit der Kohlenhydrate ist eng mit der Komplexität der Moleküle verbunden: je einfacher der Molekülaufbau, desto besser

ist die Verdaulichkeit (Teufel et al. 2002). Fütterungsversuche von Stone et al. (2003) mit dem omnivoren Australischen Silberbarsch (*Bidyanus bidyanus* Mitchell) zeigen, dass Weizenstärke von den Fischen besser verdaut werden kann als Mais- oder Kartoffelstärke⁴⁸.

Obwohl inzwischen zahlreiche Studien zur Verdauung von Stärke und anderen Kohlenhydraten bei Fischen vorliegen, kann dennoch bis jetzt kein zusammenhängendes Bild der einzelnen Prozesse der Kohlenhydratverdauung bei Fischen in Aquakulturen gezeichnet werden. Physiologische Mechanismen über die Unterschiede der Arten hinaus sind bislang nicht bekannt (Krogdahl et al. 2005).

Die Fähigkeit zur Kohlenhydratverdauung ist bei den verschiedenen Fischarten unterschiedlich. Carnivore Arten wie der Lachs (*Salmo salar* L.) besitzen nicht die erforderliche Enzymausstattung für die Verdauung von Kohlenhydraten in großen Mengen. Übersteigt der Kohlenhydratanteil in der Ration 20%, sind carnivore Fische nicht mehr in der Lage, den Glucose-Gehalt ihres Blutes zu regulieren.

Hemre et al. (2000) führten eine Fütterungsstudie mit hydrolysierten Kartoffelstärke an juvenilen Lachsen (*Salmo salar* L.) durch. Der Anteil der hydrolysierten Kartoffelstärke als Rationsergänzung betrug 15% oder 30%, der Gehalt an Proteinen und Lipiden in der Ration war ausgeglichen und die Fütterungsrate betrug 1,4 bis 2,0% des Körpergewichtes pro Tag. Aufgrund dieser restriktiven Fütterung erwarteten die Autoren einen Wachstumsschub durch die zusätzliche Stärkeaufnahme, der allerdings nicht festgestellt wurde. Auch konnten keine Unterschiede hinsichtlich der Proteinausnutzung nachgewiesen werden, hingegen sank die Futtermittelverwertung mit zunehmender Stärkeaufnahme. Bei den Fischen, die einen Rationszusatz von 30% Kartoffelstärke erhielten, kam es zu einer erhöhten *de novo* Fettsynthese. Für Parameter der Tiergesundheit wie z.B. den Cholesterolgehalt im Plasma zeigten sich keine Unterschiede zwischen den Fütterungsgruppen. Die Autoren schließen daraus, dass der Gesundheitsstatus und die Leberfunktion der Fische auch bei einem Stärkezusatz von 30% in der Ration normal bleiben.

Futtermittelproduktion: Vorbehandlung und Formulierung

Eine verbesserte Futtermittelvorbehandlung und -formulierung kann entscheidend zur Nutzung alternativer Fett- und Proteinquellen in der Aquakultur beitragen (Watanabe 2002).

Ein häufig anzutreffende Behandlung der Futtermittel für Aquakulturen ist das Extrudieren: Die Futtermittelkomponenten werden Temperaturen von 110-160°C für 5 Sekunden bei einem Druck von bis zu 40 bar ausgesetzt, wobei die Futtermittelkomponenten gemischt,

⁴⁸ Eine bessere Verdaulichkeit der Stärkeprodukte kann durch Kochen erreicht werden.

aufgeschlossen und in Form gepresst werden. Durch diese Behandlung werden Keimreduzierung und eine homogenere Struktur des Futters erreicht. Ziel des Extrudierens bei der Futtermittelherstellung für Aquakulturen ist die Erhöhung der Proteinverdaulichkeit sowie die Inaktivierung von Protease-Hemmstoffen (Watanabe 2002; Jobling et al. 2001).

Die Fütterungsstudie von Peres et al. (2003) an Gabelwelsen zeigte Effekte einer Hitzebehandlung von Sojamehl auf die Tiergesundheit: Trypsin-Hemmstoffe und das Dispersionsvermögen der Proteine konnten vermindert werden, der Nährwert des Sojamehls wurde dadurch erhöht, der Gehalt an Lysozym und Protein im Plasma der Fische nahm zu. Bei einer Dauer der Hitzebehandlung von 40 Minuten stellten die Autoren allerdings abnehmende Makrophagen-Chemotaxis und einen sinkenden Antikörpergehalt fest.

Neben der physikalischen Behandlung der Futtermittelkomponenten ist auch die chemische Struktur der enthaltenen Nährstoffe von Bedeutung für die Futtereffizienz. Apines et al. (2003) untersuchten den Einfluss der chemischen Formulierung auf die Mineralstoffaufnahme bei Regenbogenforellen. Die untersuchte organische Formulierung der Spurenelemente als Aminosäure-Chelate zeigte eine verbesserte Nährstoffaufnahme als die anorganische Formulierung. Dies galt auch dann, wenn in der Ration die Bestandteile Tricalciumphosphat und Phytat enthalten waren. Dies ist von besonderer Relevanz bei der Fütterung der Fische mit vegetabilen Ersatzstoffen, da in diesen Rationen vielfach Stoffe wie Tricalciumphosphat und Phytat vorkommen, die als Hemmstoffe für die Mineralstoffaufnahme gelten.

Optimierungsansätze für pflanzliche Futtermittel

Zusatz von Enzymen

Durch den zunehmenden Ersatz von Fischmehl gewinnt die Rationsergänzung mit Enzymen zur Erhöhung des Nährwertes der vegetabilen Ersatzstoffe immer größere Bedeutung. Der Zusatz von Phytase beispielsweise kann die Phosphor-Verfügbarkeit für die Fische erhöhen. Bislang haben Enzymzusätze noch keine breite Anwendung in der Rationsgestaltung gefunden, könnten aber in Zukunft Bedeutung erlangen. Durch den Zusatz von Enzymen könnten bestimmte Kohlenhydrate, die in den Proteinenquellen von Getreide und Ölsaaten enthalten sind, aufgeschlossen und der Nährwert dieser Ersatzstoffe für die Fische erhöht werden (Hardy 2000). Ng et al. (2002) untersuchten Effekte der Enzymbehandlung bei der Einbeziehung von Palmkernmehl in die Ration von Rotem Hybridtilapia. Bei einem Rationsanteil des Palmkernmehls von 40% verbesserte die Enzymbehandlung signifikant Wachstum und Futtereffizienz. Die Autoren untersuchten neben der Enzymbehandlung auch die Effekte einer pilzlichen Fermentation als Vorbehandlung des Futtermittels. Obwohl der Proteingehalt dadurch erhöht wurde und weitere positive Effekte im Hinblick auf den

Nährwert des Palmkernmehls festgestellt wurden, zeigten die Fische bei dieser Ration vermindertes Wachstum und die Verdaulichkeit des fermentierten Palmkernmehls war geringer. Die Fermentation mit Pilzen führt wahrscheinlich zu einem erhöhten Gehalt antinutritiver Substanzen. Dies und der Mangel bestimmter Aminosäuren in der pilzlichen Biomasse stehen einem breiten Einsatz dieser Fermentation von Futtermitteln für die Aquakultur entgegen.

Spezifische Enzymergänzungen sind nötig, um die verschiedenen Komponenten der Kohlenhydratfraktion von Ölsaaten aufzuschließen. Dies könnte gerade für die Nicht-Stärke Kohlenhydrate in Sojabohnen relevant sein, von denen angenommen wird, dass sie vorrangig den Nährwert von Soja für die Fische limitieren (Hardy 2000).

Verwendung synthetischer Aminosäuren

Um den Mangel an essentiellen Aminosäuren der vegetabilen Ersatzstoffe auszugleichen, ist der Zusatz synthetischer Aminosäuren zu den Rationen denkbar. Hardy (2000) berichtet von der Rationsergänzung mit Lysin, durch die bei Rationen für Forellen mehr als 25% des Fischmehls durch Weizen-Gluten ersetzt werden konnten, ohne dass nachteilige Effekte beobachtet wurden.

Am Beispiel der Erbse lässt sich die Bedeutung der Optimierung der vegetabilen Ersatzstoffe deutlich machen: Beim Einsatz von Erbsen als vegetabiler Ersatzstoff für Fischmehl ist die Formulierung als Konzentrat, eine hydrothermische Behandlung sowie der Zusatz schwefelhaltiger Aminosäuren erforderlich. Der P-Eintrag durch Aquakulturen in die Gewässerumwelt kann durch den Einsatz von Hülsenfrüchten wie der Erbse verringert werden. Durch den Zusatz eines Phytase-Enzyms kann die P-Ausscheidung weiter verringert sowie andere P-haltige Inhaltsstoffe der Ration ganz oder teilweise ersetzt werden (Infoharvest 2004).

Gentechnische Veränderung

Opsahl-Ferstad et al. (2003) sehen die gentechnische Veränderung als eine Möglichkeit, die Qualität von Rapssamen für die Verwendung in Fischfutter zu erhöhen. Mit der Verwendung samenspezifischer Promoter sollen transgene Pflanzen mit einem erhöhtem Anteil von 18:3 *n*-3 Fettsäuren in den Samen erstellt werden. Die meisten Gene, die für die Biosynthese von Speicherfetten codieren, gelten inzwischen als bekannt, dennoch ist die Regulation der Fettsäuren auf der molekularen Ebene noch wenig verstanden.

Glencross et al. (2003) führten mit Roten Seebrassen (*Pagrus auratus*) eine Fütterungsstudie zur Verwendung einer transgenen australischen Lupine (*Lupinus angustifolius*) durch. Lupinen werden generell als geeignet für den Einsatz als vegetabiler

Ersatzstoff in der Aquakultur angesehen, problematisch ist allerdings ihr geringer Gehalt an der essentiellen Aminosäure Methionin. Die von Glencross et al. (2003) untersuchte transgene Lupine wurde mit dem Ziel erstellt, den Methionin-Gehalt zu erhöhen. Bei der Fütterungsstudie zeigte sich, dass nur bei einer restriktiven Proteinfütterung positive Effekte des erhöhten Methionin-Gehaltes zu beobachten sind. Die Autoren schließen daraus, dass bei den proteinreichen Rationen der Fischfütterung die Bedeutung des Aminosäuremusters relativ begrenzt ist. In ökonomischer Hinsicht sehen die Autoren einen größeren Nutzen bei der Erzielung höherer Protein- und Energiegehalte der Inhaltsstoffe als bei einer Erhöhung des Methionin-Gehaltes. New und Wijkström (2002) führen zudem an, dass die Verbraucherakzeptanz beim Einsatz gentechnisch veränderter Organismen nicht vernachlässigt werden darf. Abbildung 4 zeigt die genannten Aspekte zum Einsatz vegetabiler Ersatzstoffe bei der Fischfütterung in der Aquakultur als Übersichtsgrafik ⁴⁹.

⁴⁹ Weitere Literatur zum Einsatz vegetabiler Ersatzstoffe in der Aquakultur findet sich unter <http://www.aquafeed.com> [Stand: 08.08.2005].

3 Produktion und Verwendung von Fischfutter: Status quo und derzeitige Alternativen

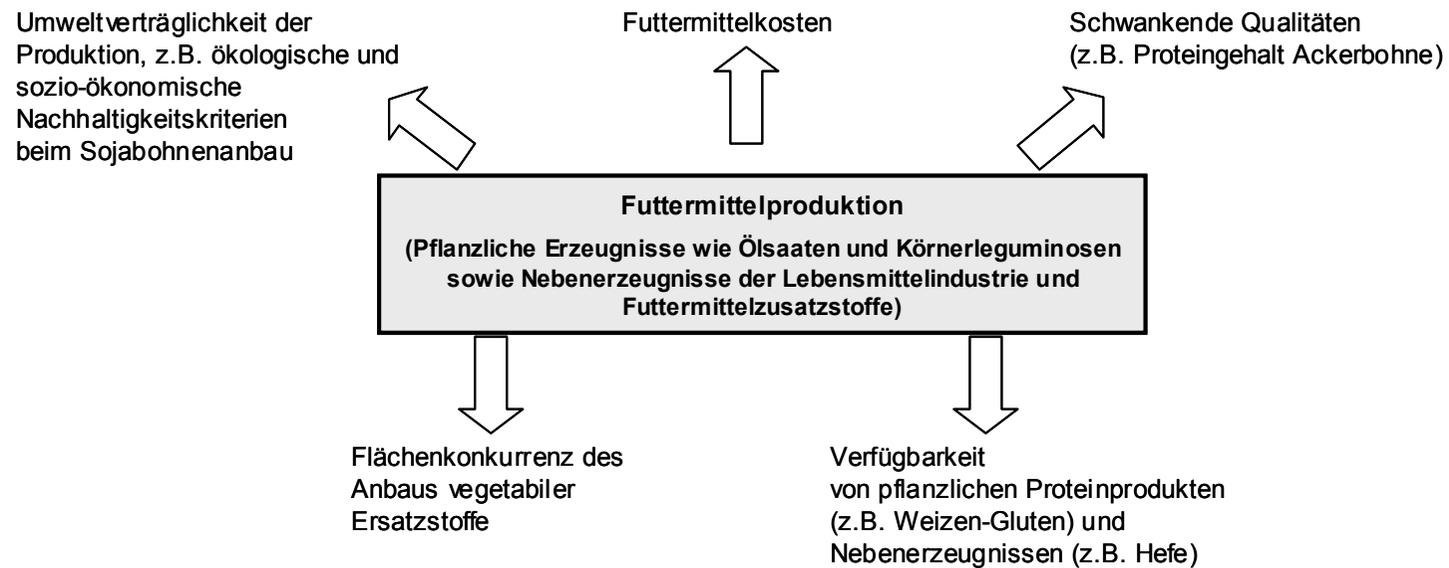


Abbildung 3: Faktoren, die beim Einsatz vegetabiler Ersatzstoffe in der Aquakultur im Bereich der Futtermittelproduktion zu berücksichtigen sind (eigene Darstellung)

3 Produktion und Verwendung von Fischfutter: Status quo und derzeitige Alternativen

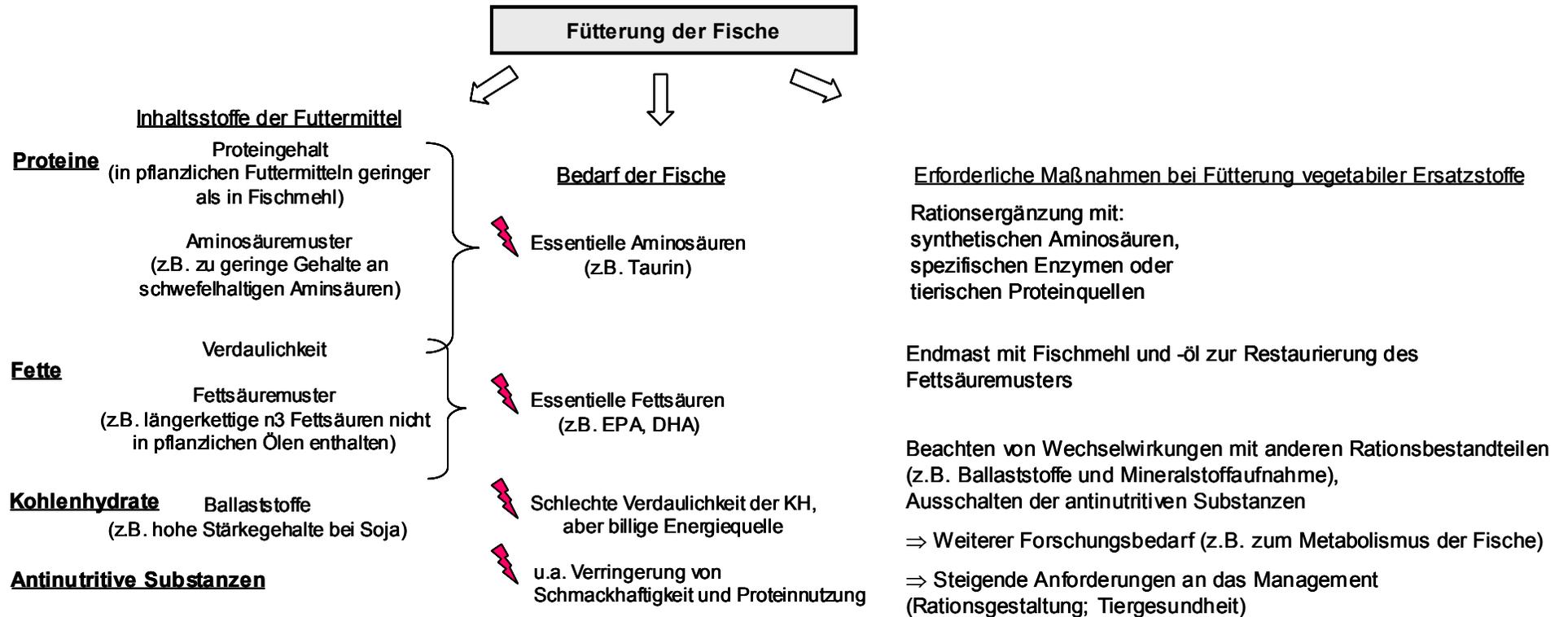


Abbildung 4: Faktoren, die bei der Fütterung vegetabler Ersatzstoffe an carnivore Fischarten in Aquakultur zu berücksichtigen sind (eigene Darstellung)

Die Notwendigkeit zum teilweisen Ersatz von Fischmehl und Fischöl bei der Rationsgestaltung in der Aquakultur ist weitgehend akzeptiert, die Dringlichkeit diesbezüglicher Bemühungen wird jedoch kontrovers beurteilt. Aufgrund der Tatsache, dass die Ausbeutung der pelagischen Fischbestände negative ökologische und soziale Konsequenzen hat, sollten öffentliche und private Hand gemeinsam an Lösungen für eine nachhaltige Fütterung der Fische in der Aquakultur arbeiten (Naylor et al. 2000). Für eine nachhaltige Aquakultur sollten die Fische, die für die Produktion von Fischmehl und Fischöl genutzt werden, nur aus gesunden und nachhaltig genutzten Beständen stammen. Die Bemühungen um einen Ersatz von Fischmehl und Fischöl durch vegetabile Ersatzstoffe sollten verstärkt werden, allerdings nicht ohne auch in diesen Bereichen frühzeitig und vorsorgend auf Kriterien zur Nachhaltigkeit zu achten.

Die Vielzahl der sekundären Pflanzeninhaltsstoffe erschwert es, die Auswirkungen einer Rationsgestaltung mit vegetabilen Ersatzstoffen zu erfassen. Wie die unterschiedlichen Ergebnisse bei verschiedenen Fischarten zeigen, wäre für die einzelnen Fischarten im Prinzip eine exakte Anpassung der Rationen in den verschiedenen Lebensphasen (juvenil, adult, Endmast) nötig. Dieser Anpassung stehen einerseits die zum Teil dürftigen Informationen über den Metabolismus der Fische und andererseits der Kostenaufwand für die Erforschung und die praktische Umsetzung gegenüber.

Im Hinblick auf die Verbraucher ergeben sich vor allem zwei Problembereiche beim Einsatz vegetabiler Ersatzstoffe in der Aquakultur: zum einen die möglichen geschmacklichen Veränderungen des Fischfleisches und zum anderen der abnehmende Gehalt an den ernährungsphysiologisch so bedeutsamen n3 ungesättigten Fettsäuren. Ein Lösungsansatz könnte sein, bei der Rationsgestaltung in der Endphase der Mast einen erhöhten Anteil Fischmehl und Fischöl einzusetzen, um so den Anteil der längerkettigen, ungesättigten Fettsäuren im Fischfleisch wieder zu erhöhen (New und Wijkström 2002; Bell et al. 2002).

4 Internationaler Sachstand zum Thema „Nachhaltige Fischproduktion in Aquakulturen“

Seit 1970 stieg der Anteil der Fischproduktion (inklusive Muscheln und Krebsen) in Aquakulturen (Produktion gemessen in Gewicht) an der weltweiten Gesamtfischproduktion von 5,3% auf 32,2% im Jahre 2000 an. Vergleicht man diese Wachstumsrate mit den Wachstumsraten in anderen tierischen Lebensmittelsektoren, so zeigt sich, dass im Bereich der Aquakulturproduktion seit 1970 die weitaus höchsten Wachstumsraten zu verzeichnen sind (FAO 2003a).

Wie in Kapitel 2 dargestellt, haben sich einige Produktionspraktiken im Bereich der Aquakultur als nicht nachhaltig erwiesen. Sie lösen eine Reihe von Umwelt- und Naturschutzproblemen aus. Daher ist die Entwicklung von nachhaltigen Aquakulturkonzepten sowohl auf politischer wie auch auf wissenschaftlicher Ebene ein wichtiges und viel diskutiertes Thema. Ebenso haben verschiedene Umwelt- und Naturschutzorganisationen, wie WWF oder Greenpeace, Grundsatzkataloge für eine umweltverträgliche Aquakulturproduktion zusammengestellt. Eine ganze Reihe von Bioanbauverbänden hat schließlich analog zu den Richtlinien für eine ökologische Landwirtschaft Richtlinien für eine ökologische Aquakulturproduktion aufgestellt (Stamer et al. 2004). Im folgenden sollen die wichtigsten Initiativen in diesem Bereich vorgestellt werden.

4.1 Politische Institutionen

Bereits Anfang der 90er Jahre wurde von einem Expertengremium, dem Mitglieder der wichtigsten Organisationen der Vereinten Nationen (unter anderem Unesco, UNEP, FAO, WHO) angehörten, ein Bericht über die ökologischen Auswirkungen von küstennahen Aquakulturbetrieben, sowie erste Empfehlungen für die Entwicklung einer nachhaltigeren Aquakulturproduktionsform herausgegeben (GESAMP 1991). Mitte der 90er Jahre gab eine ähnlich zusammengesetzte Expertengruppe Empfehlungen zum Monitoring der ökologischen Auswirkungen von Verschmutzungen, die durch den Betrieb von küstennahen Aquakulturen erzeugt werden (GESAMP 1996). Im Jahre 2001 folgte ein weiterer Bericht desselben Expertengremiums, in dem detaillierte Empfehlungen hinsichtlich Planung und Durchführung der Entwicklung eines nachhaltigen Betriebs von küstennahen Aquakulturen gegeben werden (GESAMP 2001).

Auf internationaler politischer Ebene ist die Welternährungsorganisation **FAO** diejenige Organisation innerhalb der Vereinten Nationen (UN), die am intensivsten die nachhaltige Entwicklung des Aquakulturbereiches vorantreibt. 1995 hat das Fischerei-Komitee der FAO (COFI, Committee on Fisheries) einen **Verhaltenskodex für verantwortungsvolle Fischerei (Code of Conduct for Responsible Fisheries)** verabschiedet, der auch einen Artikel über die Entwicklung der Aquakultur enthält (FAO 1995). In diesem Kodex werden die Grundsätze und internationalen Verhaltensnormen für einen verantwortungsvollen Umgang mit den natürlichen Ressourcen im Rahmen der Fischerei einschließlich der Aquakultur festgelegt. In Bezug auf die Aquakultur wird im Rahmen des Kodex unter anderem gefordert, dass nachteilige ökologische Auswirkungen und damit zusammenhängende wirtschaftliche und soziale Nachteile der Aquakultur so gering wie möglich gehalten werden sollen. Grenzüberschreitende Ökosysteme sollen geschützt werden und Nachbarstaaten sollen vor der Einführung von nicht einheimischen Arten in grenzüberschreitende Ökosysteme informiert werden. Durch geeignete Bewirtschaftungsmaßnahmen sollen die Staaten gewährleisten, dass die genetische Vielfalt und die Unversehrtheit der aquatischen Gemeinschaften und Ökosysteme erhalten bleiben. Der Kodex ist kein verpflichtendes Instrument für die FAO-Mitgliedstaaten. Das Fischerei-Komitee fordert die Staaten und alle in der Fischerei Tätigen dazu auf, diesen Kodex freiwillig anzuwenden. Zur Unterstützung der Implementierung des Verhaltenskodex für verantwortungsvolle Fischerei in den Entwicklungsländern hat das Fischerei-Komitee unter dem Namen „**FishCode**“ ein spezielles Programm ins Leben gerufen. Dieses Programm besteht aus einer ganzen Reihe von Projekten, die in verschiedenen Entwicklungsländern durchgeführt werden⁵⁰. Im Rahmen des Programmes wurde auch ein Set von **freiwilligen Richtlinien für ein Öko-Labeling von Fisch und Fischprodukten aus mariner Fischerei** erarbeitet. Auf ihrer 26. Sitzung, die vom 07.-11. März 2005 stattfand, hat das Fischerei-Komitee der FAO dieses Richtlinien-Set mittlerweile verabschiedet⁵¹. Diese neuen Richtlinien sollen als Hilfestellung für Regierungen und Organisationen dienen, die bereits eine derartige Zertifizierung durchführen oder beabsichtigen, eine solche zu etablieren. Bei diesen Richtlinien handelt es sich um generelle Prinzipien, die ein Öko-Zertifizierungssystem von Fisch und Fischprodukten aus mariner Fischerei umfassen sollte. Unter anderem wird auf die Notwendigkeit der Einrichtung einer regelmäßigen, verlässlichen und unabhängigen Prüfung der Produktion durch anerkannte unabhängige Prüfinstitutionen hingewiesen.

⁵⁰ s. <http://www.fao.org/fi/projects/fishcode/defaultt.htm> und Percy & Hishamunda (2001).

⁵¹ Guidelines for the ecolabelling of fish and fishery products from marine capture fisheries. Download: http://www.fao.org/newsroom/common/ecg/100302_en_english.pdf

Eine der wichtigsten Publikationen der FAO, die zu einer nachhaltigen Entwicklung von Fischerei und Aquakultur beitragen soll, ist der im Zwei-Jahres-Rhythmus erscheinende Bericht zum Status der Fischerei und Aquakultur weltweit („The State of World Fisheries and Aquaculture, SOFIA). In diesem Bericht, der mittlerweile zum fünften Mal erschienen ist, sind jeweils die aktuellen Daten zu Produktion, Verwendung und Handel im Fischsektor zusammengetragen. Daneben werden in den Berichten verschiedene wichtige Themen beleuchtet, wie z.B. das Problem von Antibiotikarückständen in Aquakulturprodukten (FAO 2002). Außerdem wird über spezielle Studien berichtet, die von der FAO herausgegeben wurden, und es werden Ausblicke auf Entwicklungen im Fischereisektor gegeben. Eine weitere wichtige Publikation der FAO zum Thema Aquakultur ist der „Fisheries Circular“ mit dem Titel „Review of the State of World Fisheries Resources: Aquaculture“, die das erste Mal 1995 erschien. 2003 wurde die dritte, überarbeitete Ausgabe dieses Zirkulars veröffentlicht (FAO 2003a). Ziel dieser Publikation ist es, einen umfassenden, objektiven und globalen Überblick über den aktuellen Stand der Aquakultur zu geben. Neben statistischen Daten zur Produktion, Verwertung und Vermarktung enthält die Publikation auch Informationen über zu beobachtende Trends im Aquakultursektor und Prognosen zur weiteren Entwicklungen in diesem Bereich sowie weitere Informationen zu speziellen Themen. Die Publikation stellt eine Ergänzung zu der bereits genannten, ebenfalls regelmäßig erscheinenden FAO-Publikation „The State of Fisheries and Aquaculture“ dar, bei der der Schwerpunkt eindeutig auf dem Fischerei-Sektor liegt.

Weitere Aktivitäten der FAO auf dem Gebiet der Fischerei und Aquakultur sind die Bereitstellung und Pflege von umfangreichen Datenbanken zur Fischerei und Aquakultur, sowie die Organisation und Durchführung von internationalen Fachtagungen. Im Februar 2002 hat die FAO zusammen mit dem **Asiatisch-Pazifischen Aquakulturzentren-Netzwerk (Network of Aquaculture Centres in Asia-Pacific, NACA)** eine große internationale Tagung zum Thema Aquakultur im dritten Millennium veranstaltet (NACA/FAO 2000a, NACA/FAO 2000b, NACA/FAO 2001). Im Rahmen dieser Tagung haben die Teilnehmer eine Deklaration zum Thema Aquakultur sowie eine Strategie zur Entwicklung der Aquakultur verfasst (NACA/FAO 2001).

Mittlerweile hat die FAO im Rahmen ihres Fischerei-Komitees ein **Unterkomitee zu Aquakultur (Subcommittee on Aquaculture)** eingerichtet⁵². Diese Entscheidung spiegelt

⁵² Im Jahre 2000 ist auf dem 23. Jahrestreffen des FAO Komitees zu Fischerei angeregt worden, ein Unterkomitee zur Aquakultur zu gründen (FAO 2000), auf dem 24. Jahrestreffen des FAO Komitees zu Fischerei, 26.02.-02.03.2001, wurde schließlich der Beschluss gefasst, ein solches Unterkomitee zu gründen.

die Bedeutung wider, die die verschiedenen FAO-Mitgliedstaaten der Entwicklung des Aquakulturbereichs zumessen. Das Unterkomitee zu Aquakultur soll ein neutrales Forum darstellen, in dem über den Einsatz der Aquakultur beraten und diskutiert wird. Es soll außerdem das Fischerei-Komitee zu allen politischen und technischen Fragen hinsichtlich der Aquakulturproduktion beraten. Das erste Treffen des Unterkomitees fand vom 18.-22. April 2002 in Beijing (China) statt⁵³. Auf diesem Treffen nahmen die negativen Umweltfolgen von Aquakulturbetrieben einen wichtigen Raum ein (FAO – Committee on Fisheries 2002a). Im Rahmen der Diskussion über die Implementierung der Vorschläge, die im oben genannten Verhaltenskodex für eine verantwortliche Fischerei („Code of Conduct For Responsible Fisheries“) hinsichtlich des Betriebs von Aquakulturen gemacht wurden, haben die Mitglieder des Unterkomitees betont, dass der Schutz der Umwelt und die Gesundheit der Verbraucher im Rahmen der Entwicklung einer nachhaltigen Aquakulturindustrie im besonderen Maße berücksichtigt werden müssen. Das Unterkomitee schlug im Rahmen des ersten Treffens unter anderem vor, eine Reihe von Untersuchungen zur Abschätzung der Umweltrisiken, sowie der sozialen und ökonomischen Risiken, die durch den Betrieb von Aquakultur-Anlagen entstehen, durchführen zu lassen (FAO – Committee on Fisheries 2002b).

Den Auswirkungen mariner Aquakulturbetriebe auf die marine Biodiversität inklusive der Biodiversität von Küstenökosystemen widmet sich speziell eine Expertengruppe, die im Rahmen der Aktivitäten der **Internationalen Konvention zum Erhalt der Biologischen Vielfalt** 1998 auf der vierten Vertragsstaatenkonferenz (Conference of the Parties) gegründet wurde. Mittlerweile hat die Expertengruppe einen Bericht über ihre Arbeit herausgegeben (Secretariat of the Convention on Biological Diversity 2004). In diesem Bericht empfiehlt die Arbeitsgruppe unter anderem, dass diejenigen Passagen des von der FAO zusammengestellten Verhaltenskodex für verantwortungsvolle Fischerei (Code of Conduct for Responsible Fisheries) (FAO 1995), die die Aquakultur betreffen, von der Konvention zum Erhalt der Biologischen Vielfalt angenommen werden sollten. Es wird außerdem empfohlen, dass die Konvention zum Erhalt der Biologischen Vielfalt mit der FAO und anderen im Bereich Aquakultur bedeutenden Organisationen zusammenarbeiten sollte, um die Auswirkungen mariner Aquakultursysteme auf die Biodiversität zu evaluieren.

2002 wurden rund 90% der Fischproduktion in Aquakulturen (bezogen auf das Gewicht) in Asien produziert (FAO 2004a). Zur Förderung einer nachhaltigen Aquakultur im asiatisch-

⁵³ Das dritte Treffen des Unterkomitees wird im September 2006 in Indien stattfinden (http://www.fao.org/fi/NEMS/events/detail_event.asp?event_id=32029).

pazifischen Raum wurde die Organisation **NACA, the Network of Aquaculture Centres in Asia-Pacific**, gegründet. Zu den Mitgliedsstaaten zählen unter anderem Australien, Bangladesch, Kambodscha, China, Indien, Malaysia, die Philippinen, Sri Lanka, Thailand und Vietnam. Die Kernaktivitäten dieser Organisation umfassen die Vermittlung von Kenntnissen, die Entwicklung von Forschungsk Kooperationen durch die Vernetzung von Forschungsgruppen und –zentren, Politikberatung und Unterstützung bei der Entwicklung von politischen Leitlinien, Seuchen- und Gesundheitsmanagement in der Aquakultur.

Auch auf europäischer Ebene ist die Bedeutung der Aquakultur und die Notwendigkeit der Weiterentwicklung dieses Wirtschaftssektors erkannt worden. Die **Kommission der Europäischen Gemeinschaften** hat aus dieser Erkenntnis heraus mittlerweile eine Strategie für die nachhaltige Entwicklung der europäischen Aquakultur erarbeitet (European Commission 2002). Diese Strategie steht im Einklang mit dem Verhaltenskodex der FAO für verantwortungsvolle Fischerei und dem Übereinkommen der UN (United Nations) über die biologische Vielfalt. Eines der Hauptziele dieser Strategie ist, dass der Aquakultur-Sektor umweltverträglich gestaltet werden soll. Zu den vorgeschlagenen Maßnahmen gehören unter anderem (ebd. 2002):

- Schaffung gemeinsamer Definitionen und Normen für eine ökologische und „umweltverträgliche“ Aquakultur
- Aufnahme von Standards für die Ökologische Aquakultur in die EU-Verordnung zum ökologischen Landbau (Verordnung (EWG) Nr. 2092/91)
- Erforschung alternativer Proteinquellen für Fischfuttermittel
- Erforschung neuer Arten und Stämme, die sich für einen nachhaltigen Aquakulturbetrieb eignen
- Weiterentwicklung geschlossener Wasserkreislaufsysteme
- Forschung und Entwicklung im Bereich der Offshore-Käfigtechnik
- finanzielle Förderung des Aufbaus von Offshore-Schwimmplattformen für die Muschelzucht
- Erforschung von Krankheiten der Tiere der Aquakultur
- Ausarbeitung von Empfehlungen zur Verbesserung der artgerechten Haltung von Fischen in Aquakulturen
- Maßnahmen, die verschiedene Umweltaspekte umfassen (unter anderem Maßnahmen zur Reduzierung der Abfallbelastung, Maßnahmen zur Bekämpfung der Auswirkungen, die durch entwichene Tiere entstehen).

Die Kommission der Europäischen Gemeinschaften erwägt außerdem, **spezifische Kriterien und Leitlinien für Umweltverträglichkeitsprüfungen der Aquakultur**, sowie Vorschriften zur Handhabung der Einführung nichtheimischer Arten und spezifische Rechtsvorschriften für transgene Fische auszuarbeiten (ebd. 2002). Außerdem soll die Aquakulturforschung intensiver betrieben und entsprechend mit EU-Mitteln gefördert werden.

In Bezug auf den **Fischereisektor** hat die Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2005) mittlerweile eine Diskussion über eine Gemeinschaftsregelung für **Fischerei-Umweltsiegel** eingeleitet⁵⁴. Sie kommt damit der in der Erklärung von Doha festgehaltenen Verpflichtung der WTO-Mitglieder nach, Bestimmungen über Umweltsiegel im Rahmen der Beratungen des Ausschusses für Handel und Entwicklung zu prüfen. Die Kommission sieht Umweltsiegel als ein Mittel zur Integration der Umweltschutzbelange im Fischereisektor und befürwortet die generellen Ziele einer dahingehenden Politik, nämlich insbesondere das Bewusstsein der Verbraucher für die Umweltaspekte der Fischerei zu stärken und dadurch das Fischereimanagement und die Fischer für die Umweltfolgen der Fischerei zu sensibilisieren, damit sie ihre Verantwortung für die Umwelt besser wahrnehmen. Die Kommission ist der Ansicht, dass ein kohärentes Gemeinschaftskonzept für die Vergabe und Anwendung von Fischerei-Umweltsiegeln entwickelt werden muss. Dieses Gemeinschaftskonzept sollte folgenden Zielsetzungen dienen: 1. Nachhaltige Fischerei und angemessener Schutz des Ökosystems, 2. Harmonisierte Regelung für Umweltsiegel in der ganzen Gemeinschaft, 3. Transparente und objektive Information der Verbraucher, 4. Lauterer Wettbewerb (Verwendung nicht als Werbemittel für einzelne Unternehmen), 5. Freier Zugang (keine Diskriminierung kleinerer und mittlerer Unternehmen aufgrund hoher Teilnahmekosten) und 6. die Belange der Entwicklungsländer sollen angemessen berücksichtigt werden.

Die Kommission befürwortet unter den möglichen Optionen in Bezug zur Regelung im Umgang mit Umweltsiegeln im Fischereibereich die Möglichkeit, eine Reihe von Mindestanforderungen für die freiwillige Anwendung marktorientierter Umweltsiegel festzulegen, so dass sich Umweltsiegel durch öffentliche und/oder private Initiativen frei

⁵⁴ Seit 1983 werden in Europa die Fischbestände im Rahmen der „Gemeinsamen Europäischen Fischereipolitik (GFP)“ bewirtschaftet. Im Jahre 2003 erfolgte eine Neufassung der GFP, die die europäische Fischerei ausdrücklich zu einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Fischbestände verpflichtet. Allerdings bestehen in der europäischen Fischerei deutliche Defizite in der Erfüllung der geforderten Nachhaltigkeitskriterien (Hubold 2004).

entwickeln können. Aufgabe der staatlichen Behörden hierbei wäre die Registrierung und die Kontrolle der Erfüllung der Mindestanforderungen.

Die **Umweltminister der Nordseeanrainerstaaten** haben auf der „**Fünften Internationalen Konferenz zum Schutz der Nordsee**“ die Erklärung von Bergen⁵⁵ verabschiedet, die auch einige Passagen zu Aquakultur enthält. Die Minister erkennen in dieser Erklärung, die von der Organisation zur Erhaltung des Nordatlantischen Lachses (NASCO) in Zusammenarbeit mit der Lachszuchtindustrie des Nordatlantiks erarbeiteten Leitlinien zur abgeschlossenen Hälterung von Zuchtlachs⁵⁶ an. Diese haben zum Ziel, das Entkommen von Zuchtlachsen zu minimieren. Außerdem bitten die Minister die zuständigen Behörden, die Leitlinien des FAO-Verhaltenskodex für verantwortungsvolle Fischerei für die Aquakultur weiterzuentwickeln und umzusetzen.

In verschiedenen Ländern (zum Beispiel in der Bundesrepublik Deutschland und in Norwegen⁵⁷) werden auch auf **nationaler Ebene** Strategien entwickelt, die einer nachhaltigen Entwicklung der Aquakultur dienen. In der Bundesrepublik Deutschland erfolgt dies im Rahmen allgemeiner Agrarumweltmaßnahmen. Jedes der 16 Bundesländer in Deutschland hat einen eigenen sogenannten Entwicklungsplan für die Entwicklung des ländlichen Raum (EPLR) aufgestellt, in dem verschiedene Agrarumweltmaßnahmen enthalten sind (Hartmann et al. 2003). Die EPLR der einzelnen Länder greifen dabei in unterschiedlichem Umfang auf die Maßnahmen des EU-Rahmenplanes der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ (GAK) zurück⁵⁸. Bei der Durchführung von Agrarumweltmaßnahmen im Rahmen der GAK tragen der Bund 60% und die Länder 40% des nationalen Finanzierungsanteils⁵⁹. Eine finanzielle Förderung der nachhaltigen Entwicklung der Aquakultur ist in den EPLR der Länder Bayern, Brandenburg, Sachsen und Thüringen vorgesehen. In diesen Ländern wird die extensive

⁵⁵ Erklärung von Bergen. Ministererklärung der Fünften Internationalen Konferenz zum Schutz der Nordsee, 20.-21. März 2002, Bergen, Norwegen (<http://odin.dep.no/archive/mdvedlegg/01/19/Berge037.pdf>).

⁵⁶ Die Leitlinien sind unter der URL http://www.nasco.int/pdf/nasco_res_slguidecontain.pdf abrufbar.

⁵⁷ s. Maroni (2000)

⁵⁸ Die Agrarumweltmaßnahmen der GAK sind in den Grundsätzen für die Förderung einer markt- und standortangepassten Landbewirtschaftung (Grundsätze MSL) zusammengefasst (s. <http://www.verbraucherministerium.de> – dann weiterklicken: Landwirtschaft – ländlicherRaum - Bund-Länder-Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur (GAK)“).

⁵⁹ Die Agrarumweltprogramme der Länder enthalten über die Maßnahmen der Grundsätze für die Förderung einer markt- und standortangepassten Landbewirtschaftung hinaus weitere gebietspezifische Agrarumweltmaßnahmen.

Teichwirtschaft im Rahmen des länderspezifischen Kulturlandschaftsprogramm (KULAP) gefördert (Hartmann et al. 2003)⁶⁰.

4.2 Internationale wissenschaftliche Organisationen

Die **International Council of the Exploration of the Sea (ICES)** ist eine internationale wissenschaftlich ausgerichtete Organisation, die marine Forschung im Nordatlantik (inklusive der Nord- und Ostsee) koordiniert und fördert. ICES agiert unter anderem als wissenschaftliches Austauschzentrum für rund 1.600 Wissenschaftler aus 19 Ländern. ICES kooperiert mit rund 40 internationalen Organisationen, darunter die FAO, die Kommission der Europäischen Gemeinschaften und der World Wildlife Fund. Der ICES koordiniert zahlreiche Arbeitsgruppen zu speziellen Themen, darunter eine internationale Arbeitsgruppe zu den Umweltauswirkungen mariner Aquakultursysteme (WGEIM)⁶¹, die sich einmal im Jahr trifft. Diese Arbeitsgruppe beschäftigt sich fortlaufend mit sehr konkreten Umweltproblemen von marinen Aquakulturbetrieben, wie zum Beispiel mit den Schadwirkungen von aktuell verwendeten Pestiziden, mit Futterzusatzstoffen zur Behandlung des Lachslausbefalls oder mit der Durchführung von artspezifischen Risikoanalysen zur Erfassung der Auswirkungen von Fischausbrüchen mittels einer standardisierten Methode. Detaillierte Risikoanalysen wurden bislang für fünf kultivierte Fischarten durchgeführt, die nicht zu den Salmoniden zählen: Kabeljau (*Gadus morhua*), Heilbutt (*Hippoglossus hippoglossus* L.), Wolfsbarsch (*Dicentrarchus labrax*), Goldbrasse (*Sparus aurata*) und Steinbutt (*Scophthalmus maximus*). Diese Risikoanalysen können als Entscheidungshilfe für die Vergabe von Genehmigungen von Aquakulturanlagen dienen. Mit Hilfe der Analysen und anhand der jeweiligen spezifischen Umweltbedingungen kann eine relativ gute Abschätzung der potentiellen Umweltauswirkungen von Ausbrüchen erfolgen.

Die Arbeitsgruppe beschäftigt sich außerdem fortlaufend mit der Weiterentwicklung der theoretischen und praktischen Aspekte der von ihr angewandten Methode der Risikoanalyse. Basierend auf den Arbeiten der Arbeitsgruppe gibt das ICES Empfehlungen an ihre Mitgliedsländer (siehe zum Beispiel ICES 2004c).

Das **World Fish Center**, früher bekannt unter dem Namen International Center for Living Aquatic Resources Management (ICLARM), ist eine unabhängige, gemeinnützige

⁶⁰ In Niedersachsen und Bremen gibt es Fördermittel für Maßnahmen, die hinsichtlich einer naturnahen Gewässergestaltung unternommen werden (Hartmann et al. 2003).

⁶¹ WGEIM: Working Group on Environmental Interactions of Mariculture

Forschungsorganisation, die 1977 gegründet wurde. 1992 wurde das World Fish Center ein Forschungszentrum des CGIAR (Consultive Group on International Agriculture Research), das insgesamt 16 Forschungszentren umfasst. Das World Fish Center betreibt Forschung hinsichtlich der Entwicklung von nachhaltigen Aquakultursystemen im marinen und limnischen Bereich. Außerdem organisiert und führt das World Fish Center Fortbildungen für Praxisakteure durch, um neuentwickelte Techniken und Methoden zu verbreiten.

4.3 Nichtregierungsorganisationen und Industriverbände

Verschiedene Umwelt- und Naturschutzverbände, wie der WWF (World Wildlife Fund), Greenpeace, die US-Amerikanische Umweltorganisation SeaWeb⁶² oder die chilenische Organisation Terram⁶³, setzen sich ebenfalls für die Realisierung von nachhaltigen Aquakultursystemen ein und machen auf die negativen Folgen vor allem der marinen Aquakultur aufmerksam.

Der WWF Norwegen hat 11 Kriterien für eine nachhaltige Aquakulturwirtschaft zusammengestellt (Tuominen & Esmark 2003).

- Kein Aquakulturbetrieb in marinen Schutzgebieten oder in Gebieten, in denen der Aquakulturbetrieb höchstwahrscheinlich eine Gefährdung von bedrohten Arten oder Habitaten darstellt (z.B. durch den Ausbruch von Zuchtfischen und den nachfolgenden Problemen der Einkreuzung in Wildpopulationen oder der Konkurrenz um die vorhandenen natürlichen Ressourcen).
- Gefährdete aquatische Arten oder Arten, die aus nicht nachhaltig bewirtschafteten Beständen stammen, sollten nicht für die weitere Mast in Aquakulturfarmen oder für die Aufzucht in Brutanlagen gefangen werden. Als Ausnahme wird die Aufzucht als Mittel zum Erhalt von gefährdeten Wildbeständen angesehen.
- Fischmehl und -öl sollte nur aus Fischen hergestellt werden, die von gesunden und nachhaltig bewirtschafteten Beständen stammen, bevorzugt aus Beständen, bei denen die nachhaltige Bewirtschaftung von unabhängigen Zertifizierern bescheinigt wurde.
- Die Entnahme von Wasser für den Aquakulturbetrieb darf keine schädigenden Auswirkungen auf die Umwelt haben.

⁶² <http://www.seaweb.org>

4 Internationaler Sachstand zum Thema „Nachhaltige Fischproduktion in Aquakulturen“

- Der Einsatz und die Entwicklung von gentechnisch veränderten Fischen für die Aufzucht in Aquakulturbetrieben sollte unterbleiben. Ebenso sollte das eingesetzte Fischfutter frei von gentechnisch veränderten Organismen sein.
- Belastete Abwässer dürfen nicht in schädlichen Mengen in limnische oder marine Ökosysteme geleitet werden. Hier muss eine adäquate, dem derzeitigen Stand der Technologie angepasste Aufbereitung des Abwassers gewährleistet sein.
- Toxische Chemikalien, Antibiotika oder andere Substanzen, die eine Umweltbelastung darstellen, dürfen nicht aus Aquakulturbetrieben in die Umwelt eingeleitet werden.
- Es sollte gewährleistet sein, dass keine Übertragung von Krankheiten und Parasiten auf Wildarten stattfindet.
- Exotische Arten oder Rassen sollten in geschlossenen Kreislaufanlagen gehalten werden, um ein Entweichen in die natürlichen Ökosysteme auszuschließen.
- Der illegale Fang oder Abschuss von Raubfischen, -vögeln oder räubernden Säugetieren sollte eingestellt werden.
- Die Entwicklung und das Wachstum der Aquakulturindustrie sollte kontrolliert werden, um schädliche Auswirkungen auf die Küstenökosysteme zu vermeiden.

Auch von Seiten der Industrie gibt es Ansätze, bestimmte Aspekte hinsichtlich einer nachhaltigen Entwicklung der Aquakultur in ihr Management zu integrieren. Teilweise werden von der Industrie in Zusammenarbeit mit Umweltorganisationen auch ganze Konzepte entwickelt. Der Verband der europäischen Aquakulturproduzenten (**Federation of European Aquaculture Producers, FEAP**)⁶⁴ hat beispielsweise einen Verhaltenskodex für die europäische Aquakultur, den „**Code of Conduct of European Aquaculture**“⁶⁵ im Jahre 2000 verabschiedet. Dieser Kodex wurde von Produzenten unter Einbeziehung von Experten und internationalen Organisationen, wie der FAO, und unter Berücksichtigung einer Reihe von bereits bestehenden Richtlinien, wie dem FAO-Verhaltenskodex für eine verantwortliche Fischerei (FAO 1995) entwickelt. Der Verband will mit diesem Kodex die Grundlage für die Sicherung einer nachhaltigen Entwicklung des Aquakultursektors gewährleisten. Derzeit wird

⁶³ <http://www.terram.cl>

⁶⁴ Derzeit gehören dem Verband 31 nationale Verbände aus 22 europäischen Ländern an (Quelle: <http://www.feap.info/feap/> - abgerufen am 14.09.2005).

⁶⁵ Abrufbar unter der URL <http://www.feap.info/FileLibrary/6/FEAP%20Code%20of%20Conduct.pdf>

der Kodex in vielen Punkten unter Einbeziehung von Experten überarbeitet. Ziel ist es unter anderem auch, praktische Empfehlungen für die Realisierung einer nachhaltigen Aquakultur zu geben.

Der Verband der Lachszuchtindustrie des Nordatlantiks (**The Northatlantic Salmon Farming Industry, NASFI**) hat in Zusammenarbeit mit der Organisation zur Erhaltung des Nordatlantischen Lachses (NASCO) Leitlinien zur abgeschlossenen Hälterung von Zuchtlachs⁶⁶ – „**the Williamsburg Resolution**“ – erarbeitet und verabschiedet. Diese haben zum Ziel, das Entkommen von Zuchtlachsen zu minimieren.

Eine Untersuchung zur Unternehmensverantwortung von Anbietern und Herstellern von Lachstiefkühlprodukten der Stiftung Warentest im Herbst 2004⁶⁷ hat gezeigt, dass es deutliche Unterschiede im Engagement für eine „nachhaltige Produktion von Zuchtlachs“ sowohl bei verschiedenen Handelsunternehmen als auch bei verschiedenen Produktionsbetrieben gibt. Einzelne Unternehmen haben eine Reihe von Kriterien zur Gewährleistung einer nachhaltigen Produktion aufgestellt. Eine unabhängige regelmäßige Prüfung, ob diese Kriterien tatsächlich erfüllt werden, findet allerdings nicht statt. Zum Teil konnten die Unternehmen im Rahmen der Untersuchung der Stiftung Warentest Belege für ihre Aussagen vorlegen.

⁶⁶ Die Leitlinien sind unter der URL http://www.nasco.int/pdf/nasco_res_slgguidecontain.pdf abrufbar.

⁶⁷ Die Ergebnisse wurden von Stiftung Warentest unter dem Titel „Lachsfilet: Unternehmensverantwortung. Verträglich für Mensch und Tier?“ in test, Nr.1, 2005, Stiftung Warentest (Hrsg.) veröffentlicht. Die der Untersuchung zugrunde liegenden Kriterien zur Bewertung der sozialen und ökologischen Unternehmensverantwortung sind unter der URL <http://www.test.de/downloads> abrufbar.

4.1 Umweltsiegel im Bereich Fischproduktion und –handel

4.1.1 Zuchtfisch

Mit dem Ziel, eine nachhaltige Wirtschaftsform im Rahmen der Aquakultur zu gewährleisten, haben weltweit verschiedene Bio-Anbauverbände **detaillierte Richtlinienkataloge für eine ökologische Fischwirtschaft** ausgearbeitet⁶⁸. Fische oder Schalentiere, die unter dem Label eines bestimmten Bioanbauverbandes vermarktet werden, entstammen also einem Aquakulturbetrieb, der sich zur Einhaltung bestimmter, vom zertifizierenden Anbauverband vorgegebener Nachhaltigkeitskriterien verpflichtet hat. Die Kontrolle der Betriebe, sowohl am Anfang eines Zertifizierungsverfahrens, als auch alljährlich zur Sicherstellung der Richtlinieneinhaltung, erfolgt durch unabhängige, staatlich zugelassene Kontrollstellen. Die Kriterien, auf denen die ökologische Aquakultur basiert, sind ausführlich in Stamer et al. (2004) beschrieben. Sie umfassen Aspekte des Tierschutzes (z.B. Besatzdichte, Erhalt der Tiergesundheit durch vorbeugende Maßnahmen, Anwendung von natürlich-physikalischen Methoden als Hygienemaßnahmen, Art und Weise des Transports von lebenden Tieren, Art der Ausführung von Abfischung, Tötung und Schlachtung), des Umweltschutzes (z.B. Energieeinsatz, Überwachung und Erhaltung der entsprechenden Wasserqualität, Art und Herkunft des Futters) und des Naturschutz (z.B. Art der Abwehrmaßnahmen gegen Prädatoren, Schutz umliegender Ökosysteme). Prinzipiell kann festgestellt werden, dass in den bislang existierenden verschiedenen Richtlinienkatalogen für ökologische Fischwirtschaft die entsprechenden Passagen des FAO-Verhaltenskodex für verantwortungsvolle Fischerei (Code of Conduct for Responsible Fisheries) (FAO 1995) sehr streng umgesetzt wurden. In vielen Punkten gehen die Bio-Anbauverbände in ihren Forderungen sogar sehr viel weiter, was die Realisierung einer nachhaltigen Aquakulturwirtschaft angeht (zum Beispiel beim Tierschutz). Soziale Aspekte sind hingegen bislang selten Gegenstand der Richtlinienkataloge für ökologische Fischwirtschaft. Der Bio-Anbauverband Naturland ist aufgrund seiner Zertifizierungstätigkeit in Südostasien und Südamerika jedoch gerade dabei, entsprechende Anforderungen in seinen Richtlinienkatalog

⁶⁸ Detaillierte Richtlinienkataloge wurden von folgenden Bioanbauverbänden ausgearbeitet: Debio (Norwegen), KRAV (Schweden), Naturland (Deutschland), Bioland (Deutschland), Demeter (Deutschland), Biokreis (Deutschland), Soil Association Certification Ltd (Großbritannien), Bio Suisse (Schweiz), Bio Ernte (Österreich), BioGro (New Zealand) und FIAO (Federazione Italiana per l'agricoltura Organica, Italien). Der internationale Dachverband ökologischer Anbauverbände IFOAM hat ebenfalls einen Richtlinienkatalog für die Zertifizierung von Fisch aus ökologischer Aquakultur zusammengestellt.

aufzunehmen⁶⁹. Einige Bioanbauverbände zertifizieren bislang nur einige wenige herbi- und omnivore Arten, wie den Karpfen und Nebenfische in der Karpfenzucht, da die Aufzucht von carnivoren aquatischen Arten, wie dem Lachs, aufgrund der Fütterung ökologisch bedenklich ist.

Eine weitere Initiative zur Förderung der Entwicklung von nachhaltig wirtschaftenden Aquakulturbetrieben ist von dem in der Schweiz ansässigen eingetragenen Verein „Fair-Fish“ ins Leben gerufen worden. Verschiedene Schweizer Tierschutzorganisationen waren maßgeblich an der Gründung des Vereins Anfang des Jahres 2000 beteiligt. Ziel des Vereines ist es, artgerechte, tier- und umweltfreundliche Fischzuchten zu fördern. Hierzu hat Fair-Fish mittlerweile ein Label, das „Fair-Fish-Label“ aufgebaut. Fische, die unter diesem Label verkauft werden, sind gemäß den Richtlinien des Fair-Fish-Labels aufgezogen oder gefangen worden⁷⁰. In vieler Hinsicht ähneln die Richtlinien von Fair-Fish denen, die von verschiedenen Bio-Anbauverbänden aufgestellt worden sind. Die Vorschriften sollen entsprechend dem jeweiligen Erfahrungsstand von Praxis und Wissenschaft laufend ergänzt werden. Zur Zeit arbeitet Fair-Fish mit sechs Partnern in einem Lizenzvertrag zusammen, die sich bereit erklärt haben, ihre Praxis nach den Kriterien des Vereins auszurichten⁷¹. Kontrolliert werden die Lizenznehmer von der Kontrollstelle des Schweizer Tierschutz STS.

Fundación Chile⁷²: Fundación Chile ist eine wissenschaftliche Vereinigung, die Kriterien für ein freiwilliges Umweltzertifizierungsprogramm für Aquakultur-Lachs zusammen gestellt hat⁷³. In dem Kriterienkatalog sind keine spezifischen Restriktionen bezüglich des zu verwendenden Futters enthalten. Außerdem erlaubt das Umweltsiegel den Einsatz von bestimmten Chemikalien und Medikamenten. Insgesamt sind die Kriterien jedoch sehr detailliert und es existieren messbare Indikatoren zur Bewertung der Erfüllung der Kriterien. Die Zertifizierung erfolgt über die Zertifizierungsorganisation Lloyd's Register Quality Assurance.

⁶⁹ Einen Richtlinienvergleich, sowie einen Vorschlag für die Aufnahme und Ausgestaltung einzelner Richtlinien in eine europäische Zertifizierungsrichtlinie findet sich in Stamer et al. (2004).

⁷⁰ <http://www.fair-fish.ch>

⁷¹ http://www.fair-fish.ch/kurz_gesagt/index.shtml

⁷² <http://www.fundch.cl>

⁷³ Die Kriterien sind unter der URL http://www.fundch.cl/fundch_i/dt/acuic/fc_index_i.htm abrufbar.

Responsible Aquaculture Programme (Global Aquaculture Alliance, GAA)⁷⁴: Die Global Aquaculture Alliance ist ein internationaler Aquakulturindustrieverband mit Sitz in St. Louis, Missouri, USA, der unter dem Namen „**Best Aquaculture Practices Standards**“ einen Richtlinienkatalog für eine nachhaltige Garnelenproduktion entwickelt hat. Betriebe, die die GAA-Richtlinien einhalten, können das „**Best Aquaculture Practices**“-Siegel des Verbandes erwerben. Die Zertifizierung erfolgt über Aquaculture Certification Council, Inc., die ihren Sitz ebenfalls in St. Louis, Missouri, USA hat, und nur nach den GAA-Richtlinien zertifiziert. Der GAA-Richtlinienkatalog enthält verschiedene prinzipiell überprüfbare Kriterien, die aber sehr „weich“ formuliert sind. Im Prinzip werden nur in Bezug auf die einzuhaltende Wasserqualität konkrete Angaben zu einzelnen messbaren Parametern gemacht. Bezüglich der sozialen Anforderungen (wie zum Beispiel Arbeitssicherheit) verweist der Richtlinienkatalog auf die jeweiligen nationalen Bestimmungen, die ohnehin einzuhalten sind. Es werden also keine höheren Sozialstandards gefordert. Dies trifft ebenfalls für weitere Anforderungen zu, wie zum Beispiel die Herkunft des Besatzes. Hier verweist der Richtlinienkatalog auf die nationalen Bestimmungen. Der Einsatz zugelassener Antibiotika ist unter Einhaltung der jeweiligen Anwendungshinweise erlaubt. Untersagt ist nur der Einsatz von verbotenen Antibiotika und Chemikalien. Ein weiteres Beispiel für die sehr weiche Formulierung der Kriterien ist der Schutz von Mangroven. Hier heißt es, dass die Errichtung und der Betrieb der Produktionsanlage nicht mit einem Verlust an Mangrovenbeständen einhergehen soll. Abgeholzte Mangroven sollen wieder aufgeforstet werden. Es gibt keine klaren Regelungen im Hinblick auf die Frage, ob bereits bestehende Betriebe, die auf ehemaligen Mangrovenflächen liegen, zur Erwerbung des Siegels ebenfalls Aufforstungsmaßnahmen als Ausgleichsregelung durchführen müssen⁷⁵.

4.1.2 Fisch und Fischprodukte aus mariner Fischerei

Eine nachhaltige Aufzucht von carnivoren Aquakulturarten ist nur möglich, wenn die Fütterung auf eine nachhaltige Art und Weise erfolgt. Die herkömmliche Praxis – die Verfütterung von Fischmehl, das aus Fängen der konventionellen Meersfischerei hergestellt wurde – stellt eine starke Bedrohung der natürlichen Ressourcen der Weltmeere dar. Denn ein Großteil der Fischpopulationen sind bereits heute bis an die Grenze ihrer Erhaltungsmöglichkeit befischt.

⁷⁴ <http://www.gaalliance.org>

⁷⁵ In den Richtlinien von Naturland gibt es hierzu ganz klare Vorgaben (Naturland 01/2005).

4 Internationaler Sachstand zum Thema „Nachhaltige Fischproduktion in Aquakulturen“

1997 haben die internationale Umweltschutzorganisation WWF (World Wildlife Found) und das Unternehmen Unilever⁷⁶, der weltweit größte Käufer von Fisch und Meeresfrüchten, zur Entwicklung von Umweltstandards für eine nachhaltige Fischerei die Organisation des **Marine Stewardship Council (MSC)** gegründet. WWF und Unilever beauftragten eine aus allen Regionen der Welt zusammengesetzte Gruppe von Wissenschaftlern, Fischereivertretern, Fischhändlern, Fischverarbeitern, Nichtregierungsorganisationen, Verbrauchervertretern und weiteren Interessengruppen, ein Regelwerk zu entwerfen, mit Hilfe dessen eine nachhaltige, umweltverträgliche Fischerei beurteilt werden kann. Fischereien⁷⁷, die heutzutage das MSC-Zertifikat erhalten möchten, werden anhand von diesem Regelwerk⁷⁸ überprüft. Die Überprüfung und Zertifizierung führt nicht der MSC durch. Der MSC tritt nur als „Akkreditierer“ auf. Die Überprüfung der Fischerei erfolgt durch unabhängige kommerzielle Zertifizierungsunternehmen, die vom MSC geprüft und zugelassen sind. Die Fischereien, die sich diesem Zertifizierungsprozess unterwerfen, müssen auch finanziell für diesen aufkommen. Fischereien, die das MSC-Regelwerk nicht komplett erfüllen, können zertifiziert werden, müssen sich allerdings zu einer Nachbesserung verpflichten. Die Entwicklung der zertifizierten Fischerei wird jährlich überprüft und nach fünf Jahren muss der gesamte Zertifizierungsprozess wiederholt werden. Um zu verhindern, dass Produkte aus nicht zertifizierten Fischereien mit dem MSC-Logo auf den Markt kommen, muss für MSC-Produkte ein lückenloser Herkunftsnachweis erbracht werden, aus welcher Fischerei sie stammen. Die gesamte Handelskette wird im Rahmen des MSC-Zertifizierungsprozesses geprüft (Hubold 2004).

⁷⁶ 1996 startete Unilever bereits eine Fisch-Nachhaltigkeitsinitiative, die **Unilever Fish Sustainability Initiative**, die bis heute weiter verfolgt wird. Diese Initiative begann damit, dass Unilever, von seinen Zulieferern Auskünfte über die Nachhaltigkeit ihrer Fischereipraktiken einholte. Schließlich entwickelte Unilever eine Methode, mit der die Nachhaltigkeit der Fischereipraktiken seiner Zulieferer gemessen werden konnte (ein Ampelsystem, das auf dem FAO-Verhaltenskodex für nachhaltige Fischerei basiert). Fischereien, die mit Hilfe des Ampelsystems von Unilever als „nachhaltig“ bewertet werden, werden von Unilever ermutigt, sich dem MSC-Zertifizierungsprozesses zu unterziehen.

⁷⁷ z.B. eine bestimmte Gruppe von Fischern oder Unternehmern

⁷⁸ Dieses Regelwerk setzt sich aus verschiedenen „Prinzipien“ und „Kriterien“ zusammen. Die „Prinzipien“ stellen die Ziele oder Leitlinien dar, nach denen die Fischerei erfolgen soll. Die „Kriterien“ sind Maßnahmen, wie die aufgestellten Ziele erreicht werden können. Eine detaillierte Beschreibung der Prinzipien und Kriterien und des Zertifizierungsprozesses findet sich in Phillips et al. (2003). In Kürze umfassen die Prinzipien folgende drei Punkte: 1. Zustand der Fischbestände - Hier wird ermittelt, ob ausreichende Fischbestände zur Gewährleistung einer nachhaltigen Fischerei vorhanden sind. 2. Auswirkungen der Fischerei auf die maritime Umwelt - Hiermit wird ermittelt, wie sich das Fischen auf die unmittelbare maritime Umgebung – einschließlich anderer nicht angezielter Fischarten, Meeressäuger und Seevögel – auswirkt. 3. Fischereimanagementsysteme - Hiermit wird bewertet, ob die implementierten Regeln und Verfahren sowie die Art ihrer Implementierung eine nachhaltige Fischerei und eine minimale Beeinträchtigung der maritimen Umwelt gewährleisten, wie z.B., dass die Fischerei zu keiner Überfischung oder Erschöpfung der befischten Populationen führen darf.

4 Internationaler Sachstand zum Thema „Nachhaltige Fischproduktion in Aquakulturen“

Neben dem WWF setzt sich auch die internationale Umweltschutzorganisation Greenpeace für eine nachhaltige Entwicklung von Fischerei und Aquakultur ein. Greenpeace begrüßt zwar die MSC-Initiative von WWF und Unilever, hat aber eine Reihe von Kritikpunkten am MSC-Siegel⁷⁹:

- Das MSC-Siegel kann auch an Fisch aus bereits überfischten Beständen vergeben werden, wenn ein „Erholungsprogramm“ für den betreffenden Bestand existiert. Greenpeace ist jedoch der Ansicht, dass solche Erholungsprogramme nur Erfolg haben, wenn die industrielle Befischung zeitweise eingestellt wird.
- Der Vorsorgeansatz in den MSC-Kriterien ist schwächer als in internationalen Vereinbarungen formuliert (z.B. schwächer als im UN-Abkommen zum Schutz von wandernden Fischarten und schwächer als im FAO-Verhaltenskodex für eine verantwortungsvolle Fischerei).
- Im MSC-Vorstand sind Industrie und Fischwirtschaft stark vertreten. Der MSC-Vorstand ist zugleich auch das Kontrollgremium des MSC, was laut Greenpeace bedeutet, dass Industrie und Fischwirtschaft sich selbst kontrollieren.

Greenpeace hat aufgrund dieser Kritikpunkte eine Reihe von Forderungen an das MSC zu Überarbeitung seiner Kriterien aufgestellt:

- keine Zertifizierung von Produkten aus überfischten Beständen
- keine Zertifizierung von Produkten aus Fischereien, bei denen bedrohte Arten gefangen werden (Im Falle der vom MSC zertifizierten Fischerei auf Hoki werden pro Jahr rund 1.000 Pelzrobben sowie bedrohte Albatross-Arten getötet.)
- keine Zertifizierung von Produkten aus Fischereien, die eine hohe Beifangrate oder andere zerstörerische Auswirkungen auf die Meeresumwelt haben
- die Bereiche Ökologie, Soziales und Wirtschaftlichkeit sollten beim MSC gleichberechtigt im Entscheidungsgremium vertreten sein

Weiterhin hat Greenpeace eigene Prinzipien für eine ökologisch verträgliche und nachhaltige Fischerei aufgestellt⁸⁰. Diese Prinzipien sollen zur Verringerung der ökologischen Auswirkungen der Befischung beitragen. Unter anderem gehören zu diesen Prinzipien: die Vermeidung von Beifang oder der Ausschluss von toxischen, persistenten oder bioakkumulierenden Substanzen aus dem Produktionsprozess. Ziel eines ökologischen Fischerei-Managements darf nicht die Steigerung kurzfristiger Erträge sein. Ein ökologisches Fischerei-Management sollte außerdem nach dem Vorsorgeprinzip betrieben werden, da viele ökologische Zusammenhänge bislang ungenügend geklärt sind. Außerdem sollten im

⁷⁹ s. <http://www.greenpeace.org/deutschland/fakten/meere/fischerei/stellungnahme-zum-msc>

⁸⁰ s. <http://www.greenpeace.org/deutschland/fakten/meere/fischerei/oekologische-fischerei-statt-raubbau>

Rahmen der Konzeption eines ökologischen Fischerei-Managements auch soziale Auswirkungen berücksichtigt werden.

Eine weitere Initiative zur Entwicklung eines Siegels für Fisch aus nachhaltiger Fischerei hat das Unternehmen Carrefour gestartet. Carrefour beabsichtigt nach eigenen Aussagen, mit Hilfe seiner Unternehmenspolitik das Management mariner Ressourcen zu verbessern. Hierfür hat Carrefour ein Konzept aufgestellt, das folgende Punkte zum Inhalt hat:

- die Unterstützung der Fischerei in ausgewählten Gebieten (geringe Gesundheits- und Umweltbelastung, korrekter Umgang mit Fischereiquoten)
- die Durchführung von Audits bei Fischereien
- die Schaffung von finanziellen Anreizen (Zusammenfassung von Großaufträgen), die die Fischereiunternehmen ermutigen, in nachhaltige Fischmethoden zu investieren
- in Ausschreibungen werden die Einhaltung von Mindestanforderungen im Hinblick auf den sozialen Bereich und die Umwelt gefordert

Bei Kabeljau versichert Carrefour, dass sein Angebot nur aus Norwegen, Island und den Faröer Inseln stammt. Carrefour will damit gewährleisten, dass der Kabeljau nur aus Beständen stammt, bei denen die Fischfangquoten eingehalten werden und Carrefour will die Rückverfolgbarkeit ihres angebotenen Produktes entlang der gesamten Produktionskette gewährleisten. Fisch, der aus Fängen stammt, die die Kriterien von Carrefour erfüllen, soll mit dem **Carrefour-Logo „Pêche responsable“** gekennzeichnet werden⁸¹.

Zeitgleich mit Unilever und WWF hat der **“Nordic Council of Ministers”**⁸² – das offizielle parlamentarische Kooperationsforum der nordischen europäischen Länder (Schweden, Norwegen, Finnland, Dänemark und Island) - damit begonnen, Kriterien für ein Umwelt-Label für Fisch zu entwickeln. Bislang existiert jedoch nur ein Vorschlag für einen Kriterienkatalog. In diesem werden Bewirtschaftungspläne auf der Basis wissenschaftlicher Grundlagen gefordert, die eine nachhaltige Fischerei garantieren. Außerdem werden Fangmethoden vorgeschrieben, die den Beifang reduzieren und eine möglichst geringe Auswirkung auf das Ökosystem auf dem Meeresboden haben.

Zur Reduzierung des Beifangs (vor allem des Beifangs von Delfinen) bei der Thunfischfischerei hat das **Earth Island Institute (EII)**, eine Nichtregierungsorganisation mit Sitz in den USA, in den 80er Jahren mit der Entwicklung ihres **„Dolphin Safe“ Thunfisch-**

⁸¹ http://www.carrefour.com/english/nosengagements/rdd2_1_3.jsp

⁸² <http://www.norden.org>

Label eine wichtige Initiative zum Schutz der Delfine gestartet. Mit diesem Zeichen wird nur bescheinigt, dass beim Fang des Thunfisches der Schutz der Delfine gewährleistet wird. Das Siegel leistet keinen weiteren Beitrag zu einer nachhaltigen Befischung der Thunfischbestände. Das als geschützte Marke eingetragene Label wird nur an Fischer und Händler vergeben, die ausschließlich Thunfisch aus Fängen anbieten, bei welchen die Richtlinien eingehalten werden. Das Earth Island Institute führt in zwei Fischereiregionen Kontrollen an Bord und außerdem unangekündigte Kontrollen von Betriebs-, Kapitänsbüchern und anderen Akten durch. Die Bezeichnung „dolphin safe“ wird mittlerweile auch von verschiedenen Unternehmen verwendet, die nicht mit dem Earth Island Institute zusammenarbeiten und ihr eigenes Logo entwickelt haben. Zum Teil basieren diese auf dem Abkommen über das Internationale Delfinschutzprogramm (AIDCP) einer multilateralen regionalen Fischereiorganisation. In den USA reguliert ein Gesetz, „The Dolphin Protection Consumer Act“, die Verwendung des Begriffes „dolphin safe“. Dieses Gesetz besagt, dass der Begriff nicht verwendet werden darf, wenn für Delfine gefährliche Fangmethoden, wie zum Beispiel die Verwendung von Ring- oder Treibnetzen, eingesetzt wurden. Kontrollen durch unabhängige Beobachter der US-amerikanischen Behörde „National Marine Fisheries Services“ an Bord von Firmen, die den Begriff „dolphin safe“ verwenden, werden nur in der östlichen Region des Pazifischen Ozeans durchgeführt. Da hier das Phänomen, dass Delfine Thunfischschwärme begleiten, am weitesten verbreitet ist. Analog zum „Dolphin Safe Label“ hat das Earth Island Institute nun ein „**Turtle Safe Shrimp Label™**“ entwickelt. Shrimp-Fischereien, die sich an die vom Earth Island Institute entwickelten Richtlinien halten und Fangmethoden einsetzen, die den Beifang an Schildkröten stark reduzieren, können dieses Label erhalten.

Mittlerweile sind in mehreren Ländern Einkaufsführer für Fisch erschienen, die zum Teil von verschiedenen Organisationen herausgegeben worden sind (s. Håland & Esmark 2002). Die jeweilige Länderorganisation des WWF hat zum Beispiel in Deutschland, Schweden und Großbritannien einen Einkaufsführer für Fisch herausgegeben, aus dem hervorgeht, welche Fischarten aufgrund geringer Bestandeszahlen nicht konsumiert werden sollten. Weitere Einkaufsführer sind von der britischen Organisation „Marine Conservation Society“ und der US-Amerikanischen Organisation „National Audubon Society“ erschienen. Auch Greenpeace Deutschland hat ein Faltblatt herausgegeben, aus dem hervorgeht, welche Fischarten unter Einhaltung verschiedener Nachhaltigkeitsaspekte konsumiert werden können und welche nicht.

Tabelle 9 stellt die beschriebenen Umweltsiegel im Überblick dar.

Tabelle 9: Überblick über die bestehenden Umweltsiegel für Zuchtfisch und für Fisch und Fischprodukte aus mariner Fischerei

Umweltsiegel für Zuchtfisch			
Programm	Stand der Umsetzung	Mechanismen der Umsetzung	Probleme, Mängel bei der Realisierung
Ökologische Fischwirtschaft Einhaltung bestimmter, vom jeweiligen zertifizierenden Anbauverband vorgegebener Nachhaltigkeitskriterien	Detaillierte Richtlinienkataloge der Bio-Anbauverbände liegen vor (berücksichtigt werden: Tier-, Umwelt- und Naturschutz).	Zertifizierung und jährliche Kontrolle der Betriebe erfolgt durch unabhängige, staatlich zugelassene Kontrollstellen.	Soziale Aspekte werden bislang kaum in den Richtlinien berücksichtigt. Carnivore Arten werden nicht von allen Verbänden zertifiziert.
Fair-Fish-Label Einhaltung der Richtlinien des Vereins Fair Fish	Richtlinien ähneln denjenigen der Bio-Anbauverbände, entsprechende Ergänzung nach Erfahrungsstand vorgesehen. Derzeit arbeitet der Verein mit sechs Partnern (Lizenzvertrag) zusammen.	Kontrolle der Lizenznehmer durch Kontrollstelle des Schweizer Tierschutz. Lizenznehmer verpflichtet sich zur Führung eines Zuchtjournals für alle vertraglich vereinbarten Arten.	bislang nur geringe Verbreitung
Fundación Chile Freiwilliges Zertifizierungsprogramm für Lachs aus Aquakultur	Detaillierte Kriterien und messbare Indikatoren zur Bewertung der Kriterienerfüllung sind vorhanden.	Zertifizierung erfolgt über die Zertifizierungsorganisation Lloyd's Register Quality Assurance.	keine spezifischen Restriktionen bezüglich der verwendeten Futtermittel; Einsatz bestimmter Chemikalien und Medikamente erlaubt.
Best Aquaculture Practices Siegel Richtlinien der Global Aquaculture Alliance	Richtlinienkatalog für eine nachhaltige Garnelenproduktion liegt vor.	Zertifizierung erfolgt über Aquaculture Certification Council Inc., die nur nach den GAA-Richtlinien zertifiziert.	Sehr „weiche“ Kriterien (konkrete Angaben nur zur Wasserqualität). Keine weiterreichenden Bestimmungen (z.B. Sozialstandards).

4 Internationaler Sachstand zum Thema „Nachhaltige Fischproduktion in Aquakulturen“

Fortsetzung Tabelle 9: Überblick über die bestehenden Umweltsiegel für Zuchtfisch und für Fisch und Fischprodukte aus mariner Fischerei

Umweltsiegel und -initiativen der marinen Fischerei			
Programm	Stand der Umsetzung	Mechanismen der Umsetzung	Probleme, Mängel bei der Realisierung
Siegel des Marine Stewardship Council (MSC) von WWF und Unilever initiiertes Regelwerk zur Beurteilung einer nachhaltigen, umweltverträglichen Fischerei	Regelwerk des MSC, nach dem die Zertifizierung der Fischereien erfolgt, ist vorhanden.	Überprüfung der Fischer bzw. Unternehmen erfolgt durch unabhängige kommerzielle Zertifizierungsunternehmen, die vom MSC geprüft und zugelassen sind. Jährliche Überprüfung und Wiederholung des gesamten Zertifizierungsprozesses erfolgt alle fünf Jahre. Zudem lückenloser Herkunftsnachweis und Überprüfung der gesamten Handelskette erforderlich.	Vorsorgeansatz ist beim MSC-Siegel nur schwach ausgeprägt. Auch Fisch aus bereits überfischten Beständen kann MSC-Siegel erhalten, wenn „Erholungsprogramm“ für diese Bestände existiert. Industrie und Fischwirtschaft stark im MSC-Vorstand vertreten, der zugleich Kontrollgremium ist (Eigenkontrolle!).
Pêche responsible Logo des Unternehmens Carrefour	Konzept zur Unterstützung der Unternehmenspolitik im Hinblick auf ein verbessertes Management mariner Ressourcen aufgestellt (Inhalte sind u.a. Auditdurchführung, Unterstützung der Fischereien in ausgewählten Gebieten, Schaffung finanzieller Anreize, Mindestanforderungen in Umwelt- und Sozialbereich). Entsprechend ausgezeichnete Qualitätsprodukte bei den Produktlinien Kabeljau und tiefgefrorenem Fisch seit 2002.	Bei Kabeljau: Carrefour versichert Herkunft des Kabeljaus ausschließlich aus Beständen, bei denen die Fischfangquoten eingehalten werden. Hierzu Gewährleistung der Rückverfolgbarkeit über die gesamte Produktionskette.	

4 Internationaler Sachstand zum Thema „Nachhaltige Fischproduktion in Aquakulturen“

Fortsetzung Tabelle 9: Überblick über die bestehenden Umweltsiegel für Zuchtfisch und für Fisch und Fischprodukte aus mariner Fischerei

Umweltsiegel und -initiativen der marinen Fischerei			
Programm	Stand der Umsetzung	Mechanismen der Umsetzung	Probleme, Mängel bei der Realisierung
Umwetlabel des Nordic Council of Ministers	<p>Bislang existiert ein Vorschlag für einen Kriterienkatalog eines Umwelt-Labels für Fisch. Forderungen sind:</p> <p>Bewirtschaftungspläne auf der Basis wissenschaftlicher Grundlagen zur Garantie nachhaltiger Fischerei</p> <p>Fangmethoden mit reduziertem Beifang und möglichst geringen Auswirkungen auf das Ökosystem des Meeresbodens</p>		

4 Internationaler Sachstand zum Thema „Nachhaltige Fischproduktion in Aquakulturen“

Fortsetzung Tabelle 9: Überblick über die bestehenden Umweltsiegel für Zuchtfisch und für Fisch und Fischprodukte aus mariner Fischerei

Umweltsiegel und -initiativen der marinen Fischerei			
Programm	Stand der Umsetzung	Mechanismen der Umsetzung	Probleme, Mängel bei der Realisierung
Dolphin-Safe Thunfischlabel des EII (Earth Island Institute) Beim Fang des Thunfisches wird Schutz der Delfine gewährleistet.	Label wurde in den 80er Jahren entwickelt und als geschützte Marke nur an Fischer und Händler vergeben, die ausschließlich Thunfisch aus Fängen anbieten, bei denen die Richtlinien eingehalten werden.	In zwei Fischereiregionen werden Kontrollen an Bord durchgeführt, darüberhinaus finden unangekündigte Kontrollen von Betriebs-, Kapitänsbüchern und anderen Akten statt.	Außer dem Schutz der Delfine leistet das Siegel keinen weiteren Beitrag zu einer nachhaltigen Befischung der Thunfischbestände.
Turtle Safe Shrimp Label™ des EII (Earth Island Institute) Reduzieren des Schildkröten-Beifangs bei der Shrimp-Fischerei	Vom EII entwickelte Richtlinien zu Fangmethoden sind vorhanden.	Entwicklung und Durchführung analog zum Thunfisch-Label	Weitere Aspekte der Nachhaltigkeit bei der Shrimp-Fischerei nicht beachtet.

5 Steigerung der Aquakulturproduktion: potenzielle Auswirkungen auf marine Ökosysteme

Weltweit werden angesichts der stagnierenden Fischereierträge große Hoffnungen in die Aquakulturproduktion gesetzt, um die steigende Nachfrage nach Fisch, Garnelen, Krebsen und Muscheln zu decken (siehe zum Beispiel Brugère & Ridler 2004). Heftig umstritten ist hierbei jedoch das Futterproblem. Sowohl zur Fütterung von carnivoren Arten, als auch in intensiven Produktionsformen von herbi- und omnivoren Arten, wird Fischmehl und -öl eingesetzt, das aus Wildfängen stammt. Es wird befürchtet, dass eine weitere Steigerung der Aquakulturproduktion eine noch intensivere Befischung der Meere nach sich zieht. Die Fischmehl und -öl-Anteile im Fischfutter konnten seit den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts drastisch reduziert werden (siehe Kapitel 3). Es wird auch weiterhin intensiv an Alternativen für Fischmehl und -öl in der Fütterung von Zuchtfischen geforscht. Ein bestimmter, artspezifisch noch zu ermittelnder Fischmehl und -öl-Anteil im Fischfutter ist jedoch aus Aspekten des Erhalts der Tiergesundheit und auch aus ernährungsphysiologischen Gründen (menschliche Versorgung mit n3-Fettsäuren) sinnvoll. Derzeit werden jährlich rund 37% des produzierten Fischmehls und rund 56% des produzierten Fischöls in der Fischproduktion eingesetzt. In der terrestrischen Tierproduktion werden rund 60% des jährlich produzierten Fischmehls verfüttert (IFFO 2002).

Detaillierte Kalkulationen, wie hoch der weltweite Fischmehl und -öl-Bedarf unter Berücksichtigung der zu erwartenden Steigerungen in der Aquakulturproduktion und unter Berücksichtigung sämtlicher bereits verfügbarer Alternativen (inklusive dem Einsatz von Alternativen in der terrestrischen Tierproduktion) steigen wird, sind bislang nicht durchgeführt worden. Weber (2003) hat basierend auf Daten und Prognosen⁸³ der Internationalen Fischöl und -mehl Vereinigung (International Fish Oil and Meal Association, IFOMA) den Bedarf an Fischöl und -mehl im Aquakultursektor für 2010 berechnet. Aufgrund dieser Daten wird im Aquakultursektor weltweit der Bedarf an Fischmehl um 49% und der Bedarf an Fischöl um 69% steigen.

Abgesehen von den tatsächlich zur Verfügung stehenden Möglichkeiten wird aber vor allem auch die Preisentwicklung von alternativen Proteinquellen eine wichtige Rolle dabei spielen, ob sie im großen Stil eingesetzt werden oder nicht.

⁸³ Die IFOMA hat sowohl Prognosen zu Produktionssteigerungen im Aquakultursektor als auch Prognosen zu Senkungen des Fischmehl und -öl-Anteils im Fischfutter abgegeben.

Asche & Tveterås (2004) untersuchten im Rahmen einer ökonomischen Studie die Auswirkungen einer steigenden Nachfrage nach Fischmehl. Ein Ergebnis der ökonomischen Analyse der Autoren ist, dass Fischmehl nur eine von verschiedenen Möglichkeiten der Proteinversorgung in der Tierproduktion darstellt. Es wird in der terrestrischen Tierproduktion als Eiweiß-Ersatzquelle für Soja verwendet. Steigt die Nachfrage nach Fischmehl aufgrund einer gesteigerten Fischproduktion in Aquakulturen, so wird dies nach Asche & Tveterås (ebd.) nicht zu drastisch steigenden Fischmehlpreisen und einer Steigerung der Fangraten der entsprechenden Fischarten führen. Geflügel- und Schweineproduzenten werden auf im Vergleich zum Fischmehl billiger werdende Proteinquellen ausweichen⁸⁴. Dies kann sich jedoch ändern, wenn die Fischproduktion in Aquakulturen stetig gesteigert wird. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass vor allem Fischöl die begrenzende Ressource in der Steigerung der Fischproduktion sein wird.

In den letzten Jahren hat sich mehrfach gezeigt, dass die starke Befischung von verschiedenen als Speisefische beliebten Grundfischarten zu einer Zunahme - der Bestände von pelagischen Arten, die häufig für die Fischmehl und -öl-Herstellung befischt werden, geführt hat. Allgemeingültige Aussagen zu den Auswirkungen dieser Veränderungen auf nachfolgende Trophiestufen mariner Ökosysteme (Zoo- und Phytoplanktonpopulationen) konnten bislang nicht getroffen werden. Zum einen fehlt eine diesbezügliche Datengrundlage, zum anderen können aufgrund unterschiedlicher Umweltbedingungen kaum derartige Aussagen getroffen werden.

Mittlerweile werden auch einige der pelagisch lebenden Arten so stark befischt, dass der Erhalt der Bestandesgröße unklar ist (siehe Kapitel 2 und 3). Auch die Frage, wie sich die starke Befischung von diesen Arten auf die Erholung der Bestände ihrer Räuber auswirkt, ist weiterhin nicht detailliert erforscht. Nach Aussagen von Dan Barlow vom schottischen Landesverband von Friend of the Earth stellt beispielsweise die Aufzucht von Zuchtkabeljau eine direkte Bedrohung für die derzeit bereits stark zurückgehenden wilden Kabeljau-Bestände dar. Zur Fütterung der Zuchtkabeljaue werden in der Nordsee Sandaale gefangen. Dies stellt einen massiven Eingriff in das marine Nahrungsnetz der Nordsee dar. Dem wilden Kabeljau wird – salopp gesagt – das Futter weggefangen⁸⁵. Außerdem wird geschätzt, dass die Sandaalbestände in der Nordsee ein Drittel des Nahrungsbedarfes der dort vorkommenden Vogelarten decken (FIN 2005b).

⁸⁴ Hier stellt sich jedoch anhand der begrenzt zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen Nutzfläche auch die Frage nach der Verfügbarkeit alternativer Proteinquellen.

⁸⁵ The Economist, 07.08.2003: The promise of a blue revolution

6 Forschungs- und Handlungsbedarf

Bei verschiedenen allgemeinen technischen und technologischen Problemen existiert noch Forschungsbedarf im Bereich mariner Aquakulturproduktion. Hierzu gehört zum Beispiel die Entwicklung von umweltfreundlichen Antifoulingmitteln und Parasitenbekämpfungsmethoden. Aus Gründen des Naturschutzes besteht auch Interesse an der Entwicklung von sterilen Populationen, obwohl ihr Einsatz nicht alle Probleme beseitigen würde, die der Ausbruch von Zuchtfischen mit sich bringen kann. Sterile Zuchtfische können immer noch Nahrungs- und Laichplatzkonkurrenten darstellen und Krankheiten oder Parasiten übertragen. Werden neue Arten als Zuchtfische gehalten, kann die Entwicklung neuer artspezifischer Impfstoffe gegen bestimmte Krankheiten notwendig werden. Erheblicher Forschungsbedarf besteht ebenfalls in der Entwicklung von praxistauglichen, ökonomisch und ökologisch tragfähigen integrierten Aquakultursystemen. Trotzdem besteht kein Zweifel daran, dass sich sehr viele der Umweltprobleme, die beim Betrieb von marinen Aquakultursystemen auftreten können, mit dem heutigen Kenntnisstand weitgehend vermeiden lassen. So kann zum Beispiel bei der Neuanlage von Aquakultursystemen die Einbeziehung von Experten und lokalen Umwelt- und Naturschutzverbänden bei der Standortwahl eine Reihe von Problemen im Vorfeld ausräumen.

Große Lücken herrschen derzeit noch hinsichtlich des Verständnisses der Zusammenhänge von marinen Nahrungsnetzen und den Auswirkungen der Fischerei auf marine Ökosysteme. Hier besteht dringender Forschungsbedarf, um Fangempfehlungen auch für Arten abzugeben, die zur Fischfutterherstellung gefangen werden.

Zwischen einzelnen Aquakulturproduzenten beziehungsweise deren Handelspartner gibt es deutliche Unterschiede in der Verantwortung und im Engagement für die Umwelt. Beim Vergleich von Betrieben in Entwicklungs- und Industrieländern, existieren Unterschiede auch im Hinblick auf die soziale Verantwortung (wie z.B. Gewährleistung der Arbeitssicherheit, Weiterbildungsmaßnahmen, Chancengleichheit). So arbeiten beispielsweise Öko-Aquakulturbetriebe nach sehr strengen Richtlinien, die eine nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen gewährleisten, Naturschutzaspekte berücksichtigen und darüber hinaus Aspekte des Tierschutzes beachten. Durch den Zertifizierungsprozess, dem sich Öko-Aquakulturbetriebe unterwerfen, können diese Betriebe damit rechnen, einen höheren Preis für ihre Ware zu erzielen. Ihre Arbeitsweise ist für den Verbraucher transparent und wird von unabhängigen Stellen überwacht. Bei Betrieben die nicht nach einer Öko-Verordnung arbeiten gibt es derzeit nur unzureichende fundierte unabhängige Informationen darüber, wie umweltfreundlich die jeweilige Produktionsweisen von verschiedenen

6 Forschungs- und Handlungsbedarf

Aquakulturbetrieben sind, beziehungsweise wie stark sich einzelne Handelsunternehmen tatsächlich für eine entsprechende Prozessqualität der von ihnen angebotenen Ware engagieren. Einzelne Untersuchungen, wie die von Stiftung Warentest im Herbst 2004 durchgeführte Studie zur Unternehmensverantwortung in der Lachsproduktion, sind hier zwar hilfreich, reichen jedoch nicht aus, unter anderem da sie nur in unregelmäßigen Abständen durchgeführt werden können. Trotz des bereits existierenden großen Wissens über die nachhaltige Ausgestaltung des Aquakultursektors, müssen für die verschiedenen Aquakultursysteme im einzelnen noch operable Nachhaltigkeitskriterien und -indikatoren entwickelt werden, anhand derer die Bewirtschaftungsweise überprüft werden kann. Es besteht weiterhin ein dringender Bedarf an der Entwicklung eines idealerweise international anerkannten transparenten Zertifizierungssystems und eines Umweltsiegels (siehe auch Muir 2005 und Frankic & Hershner 2003), das unter anderem als Entscheidungshilfe für den Konsumenten dienen kann.

7 Zusammenfassung

Die vorliegende Studie gibt einen Überblick über die Umweltproblematik mariner Aquakultursysteme und den derzeitigen Forschungsstand zur Entwicklung nachhaltiger Produktionsformen. Anhand verschiedener Beispiele werden bereits erzielte Verbesserungen hinsichtlich der Umweltverträglichkeit von Aquakultursystemen dargestellt. Dieser Überblick erfolgte vor allem vor dem Hintergrund der von vielen Seiten für die nächsten Jahrzehnte prognostizierten weiteren Steigerung der Produktion in marinen Aquakultursystemen. Ein zentrales Problem ist dabei die Deckung des Bedarfs an Fischfutter. In einem eigenen Kapitel wird daher der derzeitige Wissens- und Forschungsstand zu potentiellen Alternativen für Fischmehl und -öl in Fischfutter zusammengefasst. In einem weiteren Kapitel wird speziell auf den zu erwartenden Bedarf an Fischmehl und -öl eingegangen und die potentiellen Folgen der Industriefischerei für marine Ökosysteme diskutiert.

Die Studie liefert eine breit angelegte Zusammenfassung des internationalen Sachstandes zum Thema „Nachhaltige Fischproduktion in marinen Aquakulturen“. Die wichtigsten Konzepte, Entwicklungen und Initiativen von politischer Entscheidungsträgern, Nichtregierungsorganisationen, der Industrie und von wissenschaftlicher Seite werden einzeln erläutert. Die derzeit für Fischprodukte existierenden Umweltsiegel werden vorgestellt und erkennliche Defizite der Siegel dargestellt. Neben einer Beschreibung der den verschiedenen Siegeln zugrunde liegenden Inhalte wird auch auf die Initiatoren der Siegel eingegangen. Soweit nachvollziehbar, werden die Mechanismen der Siegelvergabe und die Überprüfung des Einhaltens der Anforderungen beschrieben.

Zum Schluss wird auf weiteren Forschungsbedarf und auf die Notwendigkeit der Entwicklung eines klar nachvollziehbaren Zertifizierungssystems für nachhaltig produzierte Aquakulturprodukte hingewiesen.

8 Literatur

- Alderman, D.J. & Hastings, T.S. (1998): Antibiotic use in aquaculture: development of antibiotic resistance – potential for consumer health risks. *International Journal of Food Science and Technology*, 33, 139-155.
- Apines, M.J.S., Satoh, S., Kiron, V., Watanabe, T. & Aoki, T. (2003): Availability of supplemental amino acid-chelated trace elements in diets containing tricalcium phosphate and phytate to rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 225: 431-444.
- Asche, F. & Tveterås, S. (2004): On the relationship between aquaculture and reduction fisheries. *Journal of Agricultural Economics*, 55(2), 245-265.
- Bell, J.G., McEvoy, J., Tocher, D.R., McGhee, F., Campbell, P. J. & Sargent, J.R. (2003): Replacement of Fish Oil with Rapeseed Oil in Diets of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Affects Tissue Lipid Compositions and Hepatocyte Fatty Acid Metabolism. *J. Nutr.* 133:2793-2801.
- Bell, J.G., Tocher, D.R., Henderson, R.J., Dick, J.R. & Crampton, V.O. (2002): Altered Fatty Acid Compositions in Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Fed Diets Containing Linseed and Rapeseed Oils Can Be Partially Restored by a Subsequent Fish Oil Finishing Diet. *J. Nutr.* 132:222-230.
- BfN (2002): Daten zur Natur 2002. Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.), LV Druck im Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster. 284 S.
- Breton, B. & Uzbekova, S. (2000): Évaluation des risques biologiques liés à la dissémination de poissons génétiquement modifiés dans les milieux naturels. *C.R. Acad. Agric., Fr.*, 86 (6), 67-76.
- Brugère, C. & Ridler, N. (2004): Global aquaculture outlook in the next decades: an analysis of national aquaculture production forecasts to 2030. *FAO Fisheries Circular*. No. 1001. Rome, FAO. 47p.
- Bubnoff, A. von (2005): Africa urged to create more fish farms. *Nature*, 436[7054], p. 1077.
- De Silva, S.S. (2001): A global perspective of aquaculture in the new millennium. In Subasinghe, R.; Bueno, P.; Phillips, M.J.; Hough, C.; McGladdery, S.E. & Arthur, J.R. (eds.) *Aquaculture in the Third Millennium*. Technical proceedings of the Conference on Aquaculture in the Third Millennium, Bangkok, Thailand, 20-25 February 2000. pp. 431-459. NACA, Bangkok and FAO, Rome.
- Delgado, Wada & Tacon, A.G.J. (2002): Implications for Fisheries Technology Needs and Prospects. URL: <http://www.ifpri.org/pubs/books/fish2020/oc44ch06.pdf> [Stand: 04.08.05].
- Directorate for Nature Management (1999): Environmental objectives for Norwegian aquaculture. New environmental objectives for 1998-2000. DN-rapport 1999-1b.
- Dunham, R.A. (1999): Utilization of transgenic fish in developing countries: potential benefits and risks. *Journal of the World Aquaculture Society*, 30(1), pp. 1-11.
- Engbrecht, C.C.; Schliewen, U. & Tautz, D. (2002): The impact of stocking on the genetic integrity of Arctic charr (*Salvelinus*) populations from the Alpine region. *Molecular Ecology*, 11(6), 1017-1027.
- Esmark, M; Stensland, S. & Lilleeng, M.S. (2005): On the run – escaped farmed fish in Norwegian waters. *WWF-Norway Report 2/2005*. 43 pp.

8 Literatur

- Europäische Kommission (2002): Steinbutt. Aquakultur überholt Fischerei. Fischerei in Europa, 14, S. 11. http://www.europa.eu.int/comm/fisheries/policy_de.htm.
- European Commission (2001): EUR 18949 - Agriculture and Fisheries, including agro-industry, food technology, forestry, aquaculture and rural development – FAR 1994-98. Synopsis of selected R&D projects in the field of fisheries and aquaculture.
- European Commission (2002): Eine Strategie für die nachhaltige Entwicklung der europäischen Aquakultur. Mitteilung der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament. KOM(2002) 511 endgültig, Brüssel, den 19.9.2002.
- European Commission (2003): The use of fish by-products in aquaculture. Report of the Scientific Committee on Animal Health and Animal Welfare.
- European Commission (2004): Synopsis of selected R&D projects in the field of fisheries and aquaculture. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- FAO – Committee on Fisheries (2002a): Towards Sustainable Aquaculture Development: Progress in the implementation of aquaculture-related provisions of the Code of Conduct for Responsible Fisheries (CCRF). 1st session of the Sub-Committee on Fisheries of the FAO-Committee on Fisheries, held in Beijing, China, 18-22 April 2002. COFI:AQ/1/2002/4 – <http://www.fao.org/docrep/meeting/004/Y3020E.htm>.
- FAO – Committee on Fisheries (2002b): Aquaculture development and management: status, issues, and prospects. 1st session of the Sub-Committee on Fisheries of the FAO-Committee on Fisheries, held in Beijing, China, 18-22 April 2002. COFI:AQ/1/2002/2 – <http://www.fao.org/docrep/meeting/004/Y3277e.htm>.
- FAO (1995): Code of Conduct For Responsible Fisheries, unanimously adopted on 31 October 1995 by the 28th Session of the FAO Conference. <http://www.fao.org/fi/agreem/codecond/german.asp>.
- FAO (2000): Report of the expert consultation on the proposed Sub-Committee on Aquaculture of the Committee on Fisheries. FAO Fisheries Report no. 623, Rome, FAO.
- FAO (2002): The state of world fisheries and aquaculture. Rome, FAO. 150p.
- FAO (2003a): Review of the state of world aquaculture. FAO Fisheries Circular No. 886, FAO, Rome. 74p.
- FAO (2003b): The Fish meal and Fish oil Industry - Its role in the Common Fisheries Policy' FISH 113 EN, page 21, Feb 2004 and in Report: 'Assessment of the sustainability of industrial fisheries producing fishmeal and fish oil. page 61 for RSPB by Poseidon Aquatic Resource Management Ltd. Sept 2004. URL: <http://www.gafta.com/fin/finfacts3.html> [Stand: 03.08.2005].
- FAO (2003c): The Fish meal and Fish oil Industry - Its role in the Common Fisheries Policy FISH 113 EN, page 21, Feb 2004 and in Report: Assessment of the sustainability of industrial fisheries producing fishmeal and fish oil. page 63 for RSPB by Poseidon Aquatic Management Ltd. Sept 2004. URL <http://www.gafta.com/fin/finfacts3.html> [Stand: 03.08.2005].
- FAO (2004a): The state of world fisheries and aquaculture. Rome, FAO. 154p.
- FAO (2004b): Assessment of the sustainability of industrial fisheries producing fishmeal and fish oil. page 5 for RSPB by Poseidon Aquatic Resource Management Ltd. Sept 2004. URL: <http://www.gafta.com/fin/finfacts3.html> [Stand: 03.08.2005].

8 Literatur

- FAO (2004c): Assessment of the sustainability of industrial fisheries producing fishmeal and fish oil. page 6 for RSPB by Poseidon Aquatic Resource Management Ltd. Sept 2004. URL: <http://www.gafta.com/fin/finfacts3.html> [Stand: 03.08.2005].
- FAO (2005): Review of the state of world marine fishery resources. FAO Fisheries Technical paper No. 457. Rome, FAO.
- Fernandes, T.F.; Eleftheriou, A.; Ackefors, H.; Eleftheriou, M.; Ervik, A.; Sanchez-Mata, A.; Scanlon, T.; White, P.; Cochrane, S.; Pearson, T.H.; Miller, K.L.; Read, P.A. (2002): The Management of the environmental impacts of Aquaculture. Scottish Executive, Aberdeen, UK. 88 pp.
- FIN (2005a): Fischmeal and fish oil facts and figures. Fishmeal Information Network, March 2005.
- FIN (2005b): FIN Dossier 2005. Annual review on the feed grade fish stocks used to produce fishmeal and fish oil for the UK market. Fishmeal Information Network, March 2005.
- Fischer, J. (2000): Fische als Tierfutter die Folgen für die Umwelt. In: Lanje, K (Hrsg.): Nachhaltige Eiweißversorgung in der Tierernährung. Loccum Protokolle 73/00. Rehburg-Loccum, 1. Auflage.
- Frankic, A. & Hershner, C. (2003): Sustainable aquaculture: developing the promise of aquaculture. *Aquaculture International*, 11, 517-530.
- Frid, C.; Hammer, C.; Law, R.; Loeng, H.; Pawlak, J.F.; Reid, P.C. & Tasker, M. (2003): Environmental status of the European Seas. ICES, <http://www.ices.dk>.
- Gagliardini Anibaldi, L. (2002): Analysis of specific scientific domains covering key action 5 of QoL (5FP) in the fields of fisheries and aquaculture (1998-2002). European Commission.
- Garant, D.; Fleming, I.A.; Einum, S. & Bernatchez, L. (2003): Alternative male life-history tactics as potential vehicles for speeding introgression of farm salmon traits into wild populations. *Ecology Letters*, 6, 541-549.
- Garg, S.K., Kalla, A. & Bhatnagar, A. (2002): Evaluation of raw and hydrothermally processed leguminous seeds as supplementary feed for the growth of two Indian major carp species. *Aquaculture Research*, 33: 151-163.
- Gausen, D. & Moen, V. (1991): Large escapes of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) into Norwegian rivers threaten natural populations. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 48, 352-357.
- GESAMP (IMO/FAO/Unesco/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Groups of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution) (1991): Reducing Environmental Impacts of Coastal Aquaculture. Rep. Stud. GESAMP, 47, 35p.
- GESAMP (IMO/FAO/Unesco-IOC /WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Groups of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection) (1996): Monitoring the ecological effects of coastal aquaculture wastes. Rep. Stud. GESAMP, 57, 38p.
- GESAMP (IMO/FAO/Unesco-IOC/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Groups of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection) (2001): Planning and management for sustainable coastal aquaculture development. Rep. Stud. GESAMP, 68, 90p.
- Glencross, B., Curnow, J., Hawkins, W., Kissil, G.W.M. & Peterson, D. (2003): Evaluation of the feed value of a transgenic strain of the narrow-leaf lupin (*Lupinus angustifolius*) in the diet of the marine fish, *Pagrus auratus*. *Aquaculture Nutrition*, 9: 197-206.
- Goldburg, R. & Naylor, R. (2005): Future seascapes, fishing and fish farming. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 3(1), 21-28.

8 Literatur

- Gross, M.R. (1998): One species with two biologies: Atlantic salmon (*Salmo salar*) in the wild and in aquaculture. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 55(Suppl. 1), pp. 131-144.
- Håland, B.L. & Esmark, M. (2002): Clean conscience consumption of seafood. A summary of eco-labels and environmental management systems for fisheries and aquaculture products. Working Document 02/02. WWF Norway (http://www.wwf.no/pdf/ecolabels_for_seafood.pdf).
- Hallerman, E.M. & Kapuscinski, A.R. (1993): Potential impacts of transgenic and genetically manipulated fish on natural populations: addressing the uncertainties through field testing. In: Genetic conservation of salmonid fishes. Cloud, J.G. & Thorgaard, G.H. (eds.), Plenum Press, New York and London, pp. 93-112.
- Hardy, R.W. (2000): New developments in aquatic feed ingredients, and potential of enzyme supplements. In: Cruz-Suárez, L.E.; Ricque-Marie, D.; Papia-Salazar, M.; Olvera-Novoa, M.A. & Civera-Cerecedo, R. (Eds.). *Avances en Nutrición Acuícola V. Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*. 19-22 Noviembre, 2000. Mérida, Yucatán, Mexico.
- Hartmann, E.; Thomas, F.; Luick, R.; Bierer, J. & Poppinga, O. (2003): Kurzfassungen der nach der Verordnung EG 1257/1999 kofinanzierten Agrarumweltprogramme der Bundesländer. – Stand Februar 2003. BfN-Skripten, 87, Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.), BMU-Druckerei, Bonn.
- Haya, K.; Burridge, L.E.; Davies, I.M. & Ervik, A. (2004): A review and assessment of environmental risk of chemicals used for the treatment of sea lice infestations of cultured salmon. In: ICES (2004): Report of the working group on environmental interactions of mariculture (WGEIM). 5-9 April 2004, Galway, Ireland. CM 2004/F:02. pp. 77-98, International Council for the exploitation of the sea (ed.), Copenhagen, Denmark, <http://www.ices.dk>.
- Haya, K.; Burridge, L.E.; Davies, I.M. & Ervik, A. (2005): A review and assessment of environmental risk of chemicals used for the treatment of sea lice infestations of cultured salmon. In: The handbook of environmental chemistry, Vol. 5, Water pollution and environmental effects of marine finfish aquaculture. Hargrave, B. (ed.), Springer Verlag, Berlin.
- Hemre, G.I., Shiau, S.Y., Deng, D.F., Storebakken, T. & Hung, S.S.O. (2000): Utilization of hydrolysed potato starch by juvenile Atlantic salmon *Salmo salar* L., when using a restricted feeding regime. *Aquaculture Research*, 31: 207-212.
- Hering, G. (1999): Die Auswirkungen von mariner Fischmast in Netzkäfigen auf Meeresorganismen und marine Lebensgemeinschaften. Eine Literaturstudie. Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.), Bonn, 172 S.
- Hoffmann, A. & Linnert, H. (1992): Fischteiche in und an Fließgewässern. Barrieren für Bachfische, Verdriftung von Teichfischen. *Naturschutz und Landschaftsplanung*, 4, 142-146.
- Hubold, G. (2004): Der Marine Stewardship Council (MSC). Zertifizierte Fischprodukte aus bestanderhaltender Fischerei. Forschungs-Report (Die Zeitschrift des Senats der Bundesforschungsanstalten) 2/2004, S. 42-45.
- Huntington, T.C. (2004): Feeding the fish: sustainable fish feed and Scottish aquaculture. Report to the Joint Marine Programme (Scottish Wildlife Trust and WWF Scotland) and RSPB Scotland. Poseidon Aquatic Resource Management Ltd. UK. 39 pp.
- Hutchings, J.A. & Baum, J. (2005): Measuring marine fish biodiversity: temporal changes in abundance, life history and demography. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 360, 315-338.

8 Literatur

- ICES (2002): Report of the working group on environmental interactions of mariculture (WGEIM). 8-12 April, ICES Headquarters. CM 2002/F:04 Ref.ACME, 101 pp. International Council for the exploitation of the sea (ed.) Copenhagen, Denmark, <http://www.ices.dk>.
- ICES (2004a): Blue whiting: playing a big game with small fish. ICES Newsletter, 41.
- ICES (2004b): Report of the working group on environmental interactions of mariculture (WGEIM). 5-9 April 2004, Galway, Ireland. CM 2004/F:02. 100 pp. International Council for the exploitation of the sea (ed.), Copenhagen, Denmark, <http://www.ices.dk>
- ICES (2004c): Report of the ICES Advisory Committee on the marine environment, 2004. ICES Advice. Volume 1, Number 1. 283 pp.
- ICES (2005): Report of the working group on environmental interactions of mariculture (WGEIM). 11-15 April 2005, Ottawa, Canada. CM 2005/F:04. 112 pp. International Council for the exploitation of the sea (ed.), Copenhagen, Denmark, <http://www.ices.dk>.
- IFFO (2002): Assessment of the sustainability of industrial fisheries producing fishmeal and fish oil. page 64 and 67 for RSPB by Poseidon Aquatic Management Ltd. Sept 2004. URL: <http://www.gafta.com/fin/finfacts3.html> [Stand: 03.08.2005].
- Infoharvest (2004): Research Summaries: Peas in Livestock Diets. URL: <http://www.infoharvest.ca/pcd/summ2004/sect05.html#> [Stand: 08.08.2005].
- Jia, J.; Wijkstrom, U.; Subasinghe, R. & Barg, U. (2001): Aquaculture development beyond 2000: Global prospects – keynote address II. In Subasinghe, R.; Bueno, P.; Phillips, M.J.; Hough, C.; McGladdery, S.E. & Arthur, J.R. (eds.) Aquaculture in the Third Millennium. Technical proceedings of the Conference on Aquaculture in the Third Millennium, Bangkok, Thailand, 20-25 February 2000. pp. 9-12. NACA, Bangkok and FAO, Rome.
- Jobling, M., Gomes, E. & Dias, J. (2001): Feed Types, Manufacture and Ingredients, Chapter 2. In: Houlihan, D., Boujard, T. & Jobling, M. (Eds): Food Intake in Fish. Blackwell Science Ltd.
- Kapuscinski, A.R. & Brister, D.J. (2001): Genetic impacts of aquaculture. In: Environmental impacts of aquaculture. Black, K.D. (ed.), Sheffield Academic Press, Sheffield, UK, pp. 128-153.
- Karl, H.; Kuhlmann, H. & Oetjen, K.: Transfer of toxaphene and chlordane into farmed rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) via feed. Aquaculture research, 33(12), 925-932.
- Kaushik, S.J. (2004): Fish oil replacement in aquafeeds. Aqua Feeds: Formulation & Beyond, 1: 3-6.
- Kolar, C.S. & Lodge, D.M. (2002): Ecological predictions and risk assessment for alien fishes in North America. Science, 298, 1233-1236.
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2005): Mitteilung der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament und den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss. Einleitung einer Diskussion über eine Gemeinschaftsregelung für Fischerei-Umweltsiegel. KOM(2005)275; s. http://europa.eu.int/comm/fisheries/doc_et_publ/factsheets/legal_texts/docscom/de/com_05_275_de.pdf.
- Krkosek, M.; Lewis, M.A. & Volpe, J.P. (2005): Transmission dynamics of parasitic sea lice from farm to wild salmon. Proceedings of the Royal Society of London – Series B: Biological Sciences, 272(1564), 689-696.

8 Literatur

- Krogdahl, A., Bakke-McKellep, R. & Baeverfjord (2000): Feeding Atlantic salmon *Salmo salar* L. soybean products: effects on disease resistance (furunculosis), and lysozyme und IgM levels in the intestinal mucosa. *Aquaculture Nutrition*, 6: 77.
- Krogdahl, A.; Hemre, G.I.; Mommsen, T.P. (2005): Carbohydrates in fish nutrition: digestion and absorption in postlarval stages. *Aquaculture Nutrition*, 11: 103-122.
- Laurans, M.; Gascuel, D.; Chassot, E. & Thiam, D. (2004): Changes in the trophic structure of fish demersal communities in West Africa in the three last decades. *Aquat. Living Resour.*, 17, 163-173.
- Lotze, H.K. & Milewski, I. (2004): Two centuries of multiple human impacts and successive changes in a North Atlantic food web. *Ecological Applications*, 14, 1428-1447.
- Maclean, N. & Laight, R. (2000): Transgenic fish: an evaluation of benefits and risks. *Fish and Fisheries*, 1, 146-172.
- Mann, C.C. (2004): The bluewater revolution. *Wired News* 12/05.
- Maroni, K. (2000): Monitoring and regulation of marine aquaculture in Norway. *J. Appl. Ichthyol.*, 16, 192-195.
- Marra, J. (2005): When will we tame the oceans? *Nature*, 436, 175-176.
- Muir, J. (2005): Managing to harvest? Perspectives on the potential of aquaculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, 360, 191-218.
- NACA/FAO (2001): Aquaculture in the Third Millennium. Technical Proceedings of the Conference on Aquaculture in the Third Millennium, Bangkok, Thailand. 20-25 February 2000. NACA, Bangkok and FAO, Rome, 471pp.
- NACA/FAO (2000a): Aquaculture Development Beyond 2000: The Bangkok Declaration and Strategy. <http://www.enaca.org/AquaMillennium/BangkokDeclare.htm>.
- NACA/FAO (2000b): Report of the Conference on Aquaculture in the Third Millennium. Conference on Aquaculture in the Third Millennium, 20-25 February 2000, Bangkok, Thailand. NACA, Bangkok, Thailand and FAO, Rome, Italy, 120 p.
- NASCO (2003): How does Icelandic legislation conform to NASCO regulations? Standing Committee on the Precautionary Approach, SCPA(03)6. Twentieth Annual Meeting of NASCO, Balmoral Hotel, Edinburgh, Scotland 2-6 June 2003.
- Nash, C.E. (ed.) (2001): The net-pen salmon farming Industry in the Pacific Northwest. U.S. Dept. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-NWFSC-49, 125p.
- Naturland (01/2005): Naturland Richtlinien für die Ökologische Aquakultur. Naturland – Verband für ökologischen Landbau e.V. Abrufbar unter der URL: http://www.naturland.de/n2/NL-Rili-Aquakultur_01-2005.pdf.
- Naylor, R.; Hindar, K.; Fleming, I.A.; Goldberg, R.; Williams, S.; Volpe, J.; Whoriskey, F.; Eagle, J.; Kelso, D. & Mangel, M. (2005): Fugitive salmon: assessing the risks of escaped fish from net-pen aquaculture. *Bioscience*, 55, 427-437.
- Naylor, R.L.; Goldberg, R.J.; Primavera, J.H.; Kautsky, N.; Beveridge, M.C.M.; Clay, J.; Folke, C.; Lubchenco, J.; Mooney, H. & Troell, M. (2000): Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*, 405, 1017-1024.
- New, M.B. & und Wijkström, U.N. (2002): Use of fishmeal and fish oil in aquafeeds: future thoughts on the fishmeal trap. *FAO Fisheries Circular No.* 975.
- Ng, W.-K., Lin, H.-A., Lim, S.-L. & Ibrahim, C.-O. (2002): Nutritive value of palm kernel meal pretreated with enzyme or fermented with *Trichoderma koningii* (Oudemans) as a

8 Literatur

- dietary ingredient for red hybrid tilapia (*Oreochromis* sp.). *Aquaculture Research*, 33: 1199-1207.
- Official Statistics of Norway (2003): *Fiskeoppdrett 2001*. Oslo. Statistics Norway. 76pp.
- Olvera-Novoa, M., Olivera-Castillo, L. & Martínez-Palacios, C. A. (2002): Sunflower seed meal as a protein source in diets for *Tilapia rendalli* (Boulanger, 1986) fingerlings. *Aquaculture Research*, 33: 223-229.
- Opsahl-Ferstadt, H.G., Rudi, H., Ruyter, B. & Refstie, S. (2003): Biotechnological approaches to modify rapeseed oil composition for applications in aquaculture. *Plant Science*, 165: 349-357.
- Papatryphon, E.; Petit, J.; Kaushik, S.J. & van der Werf, H.M.G. (2004): Environmental impact assesemnt of salmonid feeds using Life Cycle Assessment (LCA). *Ambio*, 33(6), 316-323.
- Pauly, D. & Palomares, M.L. (2005): Fishing down the marine food web: it is far more pervasive than we thought. *Bulletin of Marine Science*, 76(2), 197-211.
- Pauly, D. & Watson, R. (2003): Counting the last fish. *Scientific American*, 289(1), 42-47.
- Pauly, D.; Christensen, V.; Dalsgaard, J.; Froese, R. & Torres, F.C. (1998): Fishing down marine food webs. *Science*, 279, 860-863.
- Pearson, T.H. & Black, K.D. (2001): The environmental impacts of marine fish cage culture. In: *Environmental impacts of aquaculture*. Black, K.D. (ed.), Sheffield Academic Press, Sheffield, UK, pp. 1-31.
- Percy, D.R. & Hishamunda, N. (2001): Promotion of sustainable commercial aquaculture in sub-Saharan Africa. Vol. 3. Legal, regulatory and institutional framework. FAO Fisheries Technical Paper. No. 408/3. Rome, FAO.
- Peres, H., Lim, C. & Klesius, P.H. (2003): Nutritional value of heat-treated soybean meal for channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture*, 225: 67-82.
- Perez, J.E.; Alfonsi, E.; Nirchio, M.; Munoz, C. & Gomez, J.A. (2003): The introduction of exotic species in aquaculture: a solution or part of the problem? *Interciencia*, 28(4), 234-238.
- Phillips, B.; Ward, T. & Chaffee, C. (Ed.) (2003): *Eco-labelling in fisheries. What is it all about?* Blackwell Science Ltd, Oxford. pp. 196.
- Pillay, T.V.R. (2005): *Aquaculture and the environment*. 2nd ed. Blackwell Publishing, Oxford, 196 pp.
- Powell, K. (2003): Eat your veg. *Nature* (426): 378-379.
- Read, P. & Fernandes, T. (2003): Management of environmental impacts of marine aquaculture in Europe. *Aquaculture*, 226[1-4], 139-163.
- Reiter, R. (2005): Forellenfuttermittel aus Fischmehl heimischer Süßwasserfische. Vortrag auf der Fortbildungstagung für Fischhaltung und Fischzucht am Institut für Fischerei der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft am 11./12. Januar 2005.
- Rhodes, G.; Huys, G.; Swings, J.; McGann, P.; Hiney, M; Smith, P. & Pickup, R.W. (2000): Distribution of oxytetracycline resistance plasmids between aeromonads in hospital and aquaculture environments: implication of Tn1721 in dissemination of the tetracycline resistance determinant Tet A. *Applied and Environmental Microbiology*, 66 (9), pp. 3883-3890.
- Ruth, M. (1997): Untersuchungen zur Biologie und Fischerei von Miesmuscheln im Nationalpark „Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer“. UBA-Texte 73/97. Umweltbundesamt Berlin.

8 Literatur

- Saier, B. & Buschbaum, C. (2003): Bedrohte Inseln. Über Miesmuschelbänke im Wattenmeer. *Naturschutz heute*, 1, 40-41.
- Schliewen, U.; Englbrecht, C.; Rassmann, K.; Miller, M.; Klein, L. & Tautz, D. (2001): Veränderungen der genetischen Vielfalt: Molekulare und populationsökologische Charakterisierung autochthoner und durch Besatz beeinflusster Salmoniden-Populationen (Bachforelle, Alpen-Seesaibling) in Bayern. UBA-Texte 48/01. Umweltbundesamt Berlin, 206 S.
- Schmidt, A.S.; Bruun, M.S.; Dalsgaard, I. & Larsen, J.L. (2001): Incidence, distribution, and spread of tetracycline resistance determinants and integron-associated antibiotic resistance genes among motile aeromonads from a fish farming environment. *Applied and Environmental Microbiology*, 67 (12), pp. 5675-5682.
- Schmidt-Puckhaber, B. (2004): Aquakultur – ein neuer Sektor mit Zukunft? Stand und Perspektiven. In: *Das neue große Europa. Perspektiven für die Agrarwirtschaft*. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (Hrsg.), DLG-Verlag. S. 185-198.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2004): Solutions for sustainable mariculture – avoiding the adverse effects of mariculture on biological diversity (CBD Technical Series no. 12).
- SRU (2004): Meeresumweltschutz für Nord- und Ostsee. Sondergutachten herausgegeben vom Sachverständigen Rat für Umweltfragen.
- Stamer, A.; Teufel, J. & Bergleiter, S. (2004): Ökologische Fischproduktion: Struktur, Entwicklung, Probleme, politischer Handlungsbedarf. Endbericht des Forschungsvorhabens 514-43.20/02OE314 im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau. Geschäftsstelle des Bundesprogramms für Ökologischen Landbau in der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Hrsg.), Bonn. URL: <http://orgprints.org/4200/01/4200-02OE314-ble-naturl>.
- Stewart, J.E. (1997): Environmental impacts of aquaculture. *World Aquaculture*, 28(1), pp. 47-52.
- Stone, D.A.J., Allan, G.L., Parkinson, S. & Frances, J. (2000): Replacement of fishmeal in diets for Australian silver perch *Bidyanus bidyanus* (Mitchell). II. Effects of cooking on digestibility of a practical diet containing different starch products. *Aquaculture Research*, 34: 195-204.
- Subasinghe, R. (2003): An outlook for aquaculture development: major issues, opportunities and challenges. In: FAO (Ed.) *Review of the state of world aquaculture*. FAO Fisheries Circular No. 886, FAO, Rome. pp. 31-36.
- Sugiura, S.H., Babbitt, J.K., Dong, F.M. & Hardy, R.W. (2000): Utilization of fish and animal by-product meals in low-pollution feeds for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture Research*, 31: 585-593.
- Sutterlin, A.; Fletcher, G.; Hew, C. & Benfey, T. (1996): Environmental risks in using GH transgenic Atlantic salmon and rainbow trout for commercial marine production in Canada. Proceedings and papers from the 1994-96 Risk Assessment Research Symposia (<http://www.nbiap.vt.edu/brarg/brasym96/sutterlin96.htm>).
- Tacon, A.G.J. & Forster, I.P. (2003): Aquafeeds and the environment: policy implications. *Aquaculture*, 226, 181-189.
- Teufel, J. & Weigt, R. (in press): Aktualisierung des Wissenstandes über transgene aquatische Organismen. Gutachten für das Bundesamt für Naturschutz.
- Teufel, J. (2004): Uses and Ecological Impact of Net-Pen Aquaculture and Ocean Ranching of Atlantic Salmon I. European Perspective. Vortrag beim OECD Expert Workshop

8 Literatur

- on the Biology of the Atlantic Salmon (*Salmo salar*), 29 November – 1 December 2004 in Moscow, Russian Federation.
- Teufel, J.; Pätzold, F. & Potthof, C. (2002): Specific research on transgenic fish considering especially the biology of trout and salmon. Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt Berlin), Texte 64/02, ISSN 0722-186X.
- Troell, M.; Halling, C.; Neori, A.; Chopin, T.; Buschmann, A.H.; Kautsky, N.; Yarish, C. (2003): Integrated mariculture: asking the right questions. *Aquaculture*, 226[1-4], 69-90.
- Tuominen, T.-R. & Esmark, M. (2003): Food for Thought: the Use of Marine Resources in Fish Feed. WWF-Norway, Report Number 02/03.
- Villwock, W. (1993): Die Titicaca-See-Region auf dem Altiplano von Peru und Bolivien und die Folgen eingeführter Fische für Wildarten und ihren Lebensraum. *Naturwissenschaften*, 80, 1-8.
- Watanabe, T. (2002): Strategies for further development of aquatic feeds. *Fisheries Science*, 68: 242-252.
- WBGU (2001): Welt im Wandel: Neue Strukturen globaler Umweltpolitik. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen, Berlin, Springer.
- Weber, M.L. (2003): What price farmed fish: a review of the environmental & social costs of farming carnivorous fish. SeaWeb Aquaculture Clearinghouse (http://www.seaweb.org/resources/sac/pdf/WhatPriceFarmedFish_high.pdf)
- Youngson, A.F.; Dosdat, A.; Saoglia, M. & Jordan, W.C. (2001): Genetic interactions between marine finfish species in European aquaculture and wild conspecifics. *J. Appl. Ichthyol.*, 17, pp. 153-162.

9 Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Tabelle 1: Erzielte technische Fortschritte beim Betrieb von marinen Aquakulturanlagen.	11
Tabelle 2: Durchschnittliche Fischfangmengen, die für die Produktion von Fischmehl und Fischöl bestimmt sind, aufgeteilt nach Regionen.	18
Tabelle 3: Internationale Fischmehlproduktion (Durchschnitt der Jahre 1997-2001).	18
Tabelle 4: Internationale Produktion von Fischöl (Durchschnitt der Jahre 1997-2001).	19
Tabelle 5: Durchschnittliche Fangmengen und Anteile der einzelnen Fischarten bei der Fischmehlproduktion im Zeitraum von 1997-2001.	19
Tabelle 6: Auswahl an Forschungsarbeiten in Europa zum Einsatz vegetabiler Ersatzstoffe in Aquakulturen.	24
Tabelle 7: Studien zu vegetabilen Ersatzstoffen in der Aquakultur von herbi- und omnivoren Arten.	29
Tabelle 8: Studien zu vegetabilen Ersatzstoffen in der Aquakultur von carnivoren Arten.	30
Tabelle 9: Überblick über die bestehenden Umweltsiegel für Zuchtfisch und für Fisch und Fischprodukte aus mariner Fischerei	62
Abbildung 1: Antibiotika, die im Zeitraum 1987-2001 in Norwegen zur Verwendung in Aquakulturen verkauft worden sind. Quelle: Noregs offisielle statistikk, Fiskeoppdrett 2001.	14
Abbildung 2: Einsatz von Kupferoxid in Aquakulturanlagen in Norwegen im Zeitraum von 1985-2001. Quelle: Noregs offisielle statistikk, Fiskeoppdrett 2001.	16
Abbildung 3: Faktoren, die beim Einsatz vegetabiler Ersatzstoffe in der Aquakultur im Bereich der Futtermittelproduktion zu berücksichtigen sind (eigene Darstellung)	41
Abbildung 4: Faktoren, die bei der Fütterung vegetabiler Ersatzstoffe an carnivore Fischarten in Aquakultur zu berücksichtigen sind (eigene Darstellung)	42