

Förderinitiative Aquakultur:  
Wissenschaftliche Begleitung und  
Nachhaltigkeitsbewertung von  
Forschungs- und Entwicklungsvorhaben  
im Rahmen der DBU-Förderinitiative  
,Nachhaltige Aquakultur‘

-Zusammenfassung-

**AZ 29198-34**

Freiburg, 31.03.2015

**Autorinnen und Autoren**

Martin Möller  
Florian Antony  
Maurice Marquardt  
Katja Moch  
Dr. Jenny Teufel

Alle Öko-Institut e.V.

**Geschäftsstelle Freiburg**

Postfach 17 71  
79017 Freiburg

**Hausadresse**

Merzhauser Straße 173  
79100 Freiburg  
Telefon +49 761 45295-0

**Büro Berlin**

Schicklerstraße 5-7  
10179 Berlin  
Telefon +49 30 405085-0

**Büro Darmstadt**

Rheinstraße 95  
64295 Darmstadt  
Telefon +49 6151 8191-0

[info@oeko.de](mailto:info@oeko.de)  
[www.oeko.de](http://www.oeko.de)



# Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einführung</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>Zielsetzung und Untersuchungsrahmen</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>Methodische Grundlagen</b>	<b>6</b>
3.1.	Festlegung des Untersuchungsrahmens und der Bilanzobjekte	6
3.2.	Datenerhebung und Modellierung der Sachbilanzen	7
3.3.	Wirkungsabschätzung und Auswertung	8
<b>4.</b>	<b>Charakterisierung der bewerteten F&amp;E-Projekte und Zusammenfassung der Analyseergebnisse</b>	<b>9</b>
4.1.	F&E-Projekt I: Elektrochemische Verfahren in der Aquakultur	9
4.2.	F&E-Projekt II: Ultraschall-UV-Desinfektionssystem für Kreislaufanlagen in der Aquakultur	10
4.3.	F&E-Projekt III: Entwicklung einer umwelt- und fischgesundheitsfreundlichen Technologie zur Verringerung der Stickstoff und Mikropartikelfracht in Aquakultur Kreislaufanlagen	12
4.4.	Nährstoff-Recycling in landbasierten marinen Kreislaufanlagen durch die integrierte Produktion von Algenbiomasse	13
4.5.	F&E-Projekt V: Biologische Abwasserreinigung in landbasierten marinen Kreislaufanlagen durch integrierte Kultur von Halophyten	14
4.6.	F&E-Projekt VI: Hormonfreie Tilapiaproduktion sichert nachhaltige Fischproduktion in Deutschland	15
4.7.	Untersuchungen zur Einführung von Felchen ( <i>Coregonus lavaretus</i> ) als neue Art für die heimische Aquakultur	16
4.8.	F&E-Projekt VIII: Konzeptstudie zur Erzeugung von Trockenfuttermitteln aus konservierten Nebenprodukten der Süßwasserfischverarbeitung und deren Verwertung durch karnivore Wirtschaftsfischarten	17
4.9.	F&E-Projekt IX Projekt 9 – Einsatz der Mikroalge <i>Pavlova spec.</i> als alternatives Futtermittel für die Larvenaufzucht in der marinen Aquakultur	18
4.10.	F&E-Projekt X: Projekt 10 – Fermentation der $\Omega$ -3-Fettsäure Docosahexaensäure (DHA) mit heterotrophen Algen zur Anreicherung von Nematoden für die Fütterung von Shrimplarven in der Aquakultur	19
<b>5.</b>	<b>Diskussion übergeordneter Erkenntnisse aus der Bewertung der einzelnen F&amp;E-Projekte</b>	<b>21</b>
5.1.	Methodische Schlussfolgerungen	21
5.2.	Einordnung der Ergebnisse	23
5.3.	Veröffentlichung der Ergebnisse und Erkenntnisse	25
5.4.	Schlussfazit und Ausblick	25



## 1. Einführung

Angesichts stagnierender bzw. in Zukunft voraussichtlich sinkender Fischfangerträge der marinen Fischerei setzen die Fischwirtschaft, eine Reihe von Regierungen und Institutionen (zum Beispiel die Weltbank oder der Internationale Währungsfond) sowie Forschungsgruppen ihre Hoffnungen darauf, den steigenden Fischbedarf in Zukunft durch einen weiteren Ausbau der Aufzucht von Fischen in Aquakultursystemen zu decken.

Angesichts stagnierender bzw. in Zukunft voraussichtlich sinkender Fischfangerträge der marinen Fischerei setzen die Fischwirtschaft, eine Reihe von Regierungen und Institutionen (zum Beispiel die Weltbank oder der Internationale Währungsfond) sowie Forschungsgruppen ihre Hoffnungen darauf, den steigenden Fischbedarf in Zukunft durch einen weiteren Ausbau der Aufzucht von Fischen in Aquakultursystemen zu decken.

Die weltweite Produktion von Fisch, Schalentieren und Algen in Aquakulturen ist seit den 70er Jahren enorm angestiegen. Aquakultur ist der am schnellsten wachsende Lebensmittelsektor. 2009 stammten laut der FAO 55 Millionen Tonnen Fisch aus Aquakulturen, das war etwas mehr als ein Drittel der insgesamt 145 Millionen Tonnen gefangenen Fisches. Die Wachstumsraten lagen in den zurückliegenden 20 Jahren bei 5-10% p.a.. Angesichts dieser sehr dynamischen Entwicklung stellt Aquakultur eines der Mega-Themen in Hinblick auf die langfristige Sicherstellung einer qualitativ hochwertigen Nahrungsmittelversorgung der Menschheit dar.

Mit diesem Ausbau geht aber auch eine Reihe von Umweltproblemen einher. Dazu gehören die Überdüngung von Gewässern sowie die Belastung von Gewässern mit Schadstoffen (z.B. durch den Einsatz von Antifoulingmitteln oder Antibiotika) und die genetische Gefährdung von Wildfischbeständen durch entweichende Zuchtarten. Ein weiteres Problem besteht auch im erhöhten Fangdruck auf Fischbestände, die für die Herstellung von Fischmehl und -öl als Futtermittel für Aquakulturen gefangen werden. Andererseits ist jedoch zu berücksichtigen, dass Aquakulturanlagen anders als die Wildfischerei keinen Beifang verursachen, was nicht zuletzt aus Tierschutzgesichtspunkten ein großes Problem darstellt. Beispielsweise kann in der Shrimpsfischerei der Beifang bis zu 80 Prozent der Fangmenge betragen.

Vor diesem Hintergrund hat die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) im Jahr 2009 eine Förderinitiative „Nachhaltige Aquakultur“ ausgeschrieben, die zum Ziel hat, die Entwicklung innovativer Aquakultursysteme zu fördern, die einen Beitrag für mehr Nachhaltigkeit leisten. Vorrangiges Ziel dieser Förderinitiative ist es anwendungsrelevante Techniken zu entwickeln, die u.a. die Energie- und Ressourceneffizienz von offenen und geschlossenen Systemen steigern. Neben der Optimierung der Aggregate der Kreislauftechnologie sollen auch optimierte Futtermittelkonzepte sowie Ansätze zur integrierten Produktion (Schließen von Nährstoffkreisläufen bei der Produktion hochwertiger Eiweiße) untersucht und entwickelt werden.

## 2. Zielsetzung und Untersuchungsrahmen

Im Rahmen der Förderinitiative Aquakultur wurde das Öko-Institut e.V. beauftragt, die zehn geförderten Forschungs- und Entwicklungsvorhaben einer prozessbegleitenden Nachhaltigkeitsbewertung zu unterziehen (AZ 29198-34; im Folgenden „Bewertungsprojekt“ genannt). Vor diesem Hintergrund besteht das Ziel der vorliegenden Studie darin, die im Rahmen der Förderinitiative Aquakultur geförderten Forschungs- und Entwicklungsvorhaben (im Folgenden F&E-Projekte bezeichnet) einer prozessbegleitenden Nachhaltigkeitsbewertung zu unterziehen. Konkret soll jeweils für die einzelnen Vorhaben in einer lebenswegorientierten Perspektive analysiert und

quantifiziert werden, ob, in welchem Umfang und ggf. unter welchen Bedingungen unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten relevante Optimierungspotenziale erschlossen werden können. Die Bewertung soll dabei konkret mit Hilfe des bewährten methodischen Instruments der Ökobilanzierung vorgenommen werden. Dabei müssen allerdings Anpassungen und Ergänzungen im Methodeninventar vorgenommen werden, um zusätzliche bewertungsrelevante Gesichtspunkte wie beispielsweise tierschutzbezogene Aspekte und ökonomische Gesichtspunkte angemessen berücksichtigen zu können. Letztlich sollen durch die integrierte Begleitforschung für die verschiedenen Entwicklungspfade der praxisbezogenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zeitnah Bewertungen unter nachhaltigkeitsrelevanten Kriterien vorgenommen werden.

### 3. Methodische Grundlagen

neuen, in Entwicklung befindlichen Technologien im Bereich der Aquakultur in einer absoluten Betrachtungsweise durchzuführen. Möglich ist es hingegen, diese neuen Technologien geeigneten Referenztechnologien gegenüber zu stellen und damit die *relativen* Vorteile bzw. Nachteile unter verschiedenen Nachhaltigkeitskriterien quantitativ zu erfassen und zu vergleichen. Dazu müssen sowohl die neuen Technologien als auch die betreffenden Referenztechnologien festgelegt und hinsichtlich der Systemgrenzen der Bilanzierung beschrieben werden. Referenztechnologien können dabei entweder herkömmliche, d.h. gegenwärtig am Markt vorherrschende Technologien, aber auch alternative Neuentwicklungen sein.

Im Folgenden werden die methodischen Grundlagen für die durchgeführten vergleichenden Nachhaltigkeitsbewertungen beschrieben, wobei die einzelnen, aufeinander abfolgenden Arbeitsschritte detailliert dargelegt werden. Die grundsätzliche Vorgehensweise orientiert sich dabei an der allgemeinen Vorgehensweise bei Ökobilanzen gemäß der internationalen Normen DIN EN ISO 14040:2006 sowie DIN EN ISO 14044:2006 (vgl. Kapitel 3.1 - 3.3).

Um bei den einzelnen zu bewertenden F&E-Projekten einen entsprechend der spezifischen Rahmenbedingungen und Funktionalitätsgesichtspunkten umfassenden Vergleich mit der jeweiligen Referenztechnologie zu gewährleisten, wurden neben den ökobilanziellen Analysen – sofern erforderlich – insbesondere auch ökonomische Gesichtspunkte sowie Tierschutzaspekte betrachtet. Auf diese Punkte wurde insbesondere im Rahmen der Vorgehensweise bei der Festlegung des Untersuchungsrahmens und der Auswertung eingegangen.

#### 3.1. Festlegung des Untersuchungsrahmens und der Bilanzobjekte

Auf der Basis der zu Beginn dieses Bewertungsprojektes von den einzelnen F&E-Projekten vorliegenden Informationen konnten die Bilanzobjekte noch nicht mit ausreichender Detaillierungstiefe definiert werden; daher mussten zu Beginn einer jeden vergleichenden Nachhaltigkeitsbewertung der Untersuchungsrahmen sowie die zu untersuchenden Bilanzobjekte im Dialog mit den jeweiligen Forschungsmittelnehmern erarbeitet und abgestimmt werden. Im Einzelnen wurden in diesem Arbeitspaket folgende Teilarbeiten zur Beschreibung der neuen Technologien und geeigneter Referenztechnologien anhand der folgenden bilanztechnischen Parameter durchgeführt:

- Festlegung der Systemgrenzen der Untersuchung;
- Definition der Funktionalität und der funktionellen Einheit als Vergleichsbasis zwischen den Technologie-Neuentwicklungen und den jeweiligen Referenztechnologien;
- Festlegung der Abschneidekriterien zur Vereinfachung der Betrachtung;

- Festlegung der Allokationsregeln, zum Beispiel für den Umgang mit Neben- und Kuppelprodukten;
- Festlegung der Anforderungen an die Datenqualität in Hinblick auf den technologischen, geographischen und zeitlichen Erfassungsbereich der Analysen;
- Festlegung der abzubildenden Nachhaltigkeitsaspekte.

Eine detaillierte Erläuterung der grundlegenden Rahmenbedingungen bzw. Anforderungskriterien für diese zentralen bilanztechnischen Parameter befindet sich im Endbericht.

### 3.2. Datenerhebung und Modellierung der Sachbilanzen

Zu Beginn der Untersuchung stand eine orientierende Betrachtung (Screening), welche Daten für die Bilanzierung der zu untersuchenden Systeme erforderlich sind. Entsprechend der Zielsetzung der Studie lag der Fokus auf einer Datengrundlage, die möglichst robuste Aussagen hinsichtlich der Unterschiede zwischen Neuentwicklung und jeweiliger Referenztechnologie ermöglicht.

Auf der Grundlage dieses Screenings wurde in einem iterativen Prozess und in enger Abstimmung mit den Forschungsmittelnehmern für jedes zu bewertende F&E-Projekt festgelegt, welche Sachbilanzdaten entsprechend der zuvor festgelegten Systemgrenzen ermittelt werden müssen. Dabei wurde unterschieden zwischen spezifischen Daten (zum Beispiel Ausbeute, Erträge, Verbrauch an Hilfs- und Betriebsstoffen) und allgemeinen Daten zu umweltrelevanten Stoff- und Energieströmen (etwa Bezug von elektrischer Energie aus dem Stromnetz).

Während die allgemeinen Daten aus Ökobilanz-Datenbanken (z.B. Ecolinvent), Literaturwerken oder Statistiken entnommen bzw. abgeleitet werden konnten, wurde die Erhebung der spezifischen Primärdaten entsprechend der nachfolgend skizzierten Vorgehensweise durchgeführt:

- **Analyse der Struktur des Lebenswegs und der relevanten Prozessketten.** Die Systemgrenzen für die Datenerfassung wurden auf Basis von Flussdiagrammen zu den Prozessabläufen der Neuentwicklungen festgelegt, die von den Forschungsnehmern zur Verfügung gestellt wurden und für das Öko-Institut als Grundlage für die Ausarbeitung von Fragebögen zur Erhebung von Primärdaten<sup>1</sup> dienten. Dabei wurde konkret so vorgegangen, dass für die zu bewertenden F&E-Projekte die Datenerhebung durch die jeweiligen Forschungsmittelnehmer selbst und nicht durch das Öko-Institut erfolgte. Um das konkrete Vorgehen zur Datenerhebung möglichst effektiv und effizient zu gestalten, wurde das grundlegende Datenerfassungskonzept vom Öko-Institut im Rahmen eines zweitägigen Auftaktseminars am 08. und 09. Juni 2011 unter Beteiligung der DBU, aller Forschungsmittelnehmer sowie externer Expertinnen und Experten vorgestellt, mit allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern diskutiert und verabschiedet. Auf der Basis dieses grundlegenden Datenerfassungskonzepts wurden mit den einzelnen Forschungsmittelnehmern zu Beginn der Datenerfassung für das jeweilige F&E-Projekt ein individuelles Auftaktgespräch geführt, welches entweder als Vor-Ort-Termin oder telefonisch organisiert wurde.
- **Erhebung von Primärdaten.** Die einzelnen Primärdaten (z.B. Einsatz von thermischer und elektrischer Energie, Einsatz von Hilfsmitteln, Abfälle entlang der Produktion, etc.) zur Abbildung einzelner Prozesskettenabschnitte der Aquakulturverfahren wurden schließlich von den Forschungsmittelnehmern mit Hilfe der vom Öko-Institut erstellten Fragebögen zusammengestellt.

---

<sup>1</sup> Im Rahmen der Erhebung der Primärdaten wurden Energieverbrauchsdaten, sowie weitere In- und Output-Daten (z.B. Wasserverbrauch, Einsatz von Hilfsstoffen, anfallende Reststoffe, Abwasserdaten) zu den einzelnen Prozessschritten abgefragt.

Zusätzlich zu den eigentlichen Sachbilanzdaten wurden von den Forschungsmittelnehmern innerhalb des Fragebogens auch Angaben zur jeweiligen Datenqualität<sup>2</sup> der erhobenen Rohdaten dokumentiert. Während der Datenerhebung wurden eventuelle Rückfragen zwischen dem Forschungsmittelnehmer und dem Öko-Institut per Telefon und E-Mail geklärt. Die einzelnen Fragebögen der bewerteten F&E-Projekte befinden sich in der elektronischen Anlage zu diesem Bericht.

- **Validierung der Daten.** Die von den Forschungsmittelnehmern erfassten Sachbilanzdaten wurden vom Öko-Institut auf Vollständigkeit und Plausibilität überprüft. Sofern erforderlich, wurde eine Validierung mit Literaturdaten vorgenommen. Ggf. erforderliche Abstimmungen bzw. Vergewisserungen erfolgten bilateral mit den Forschungsmittelnehmern.

Die modelltechnische Abbildung sowohl der allgemeinen als auch der spezifischen Daten sowie die Berechnung der jeweiligen Stoff- und Energieflüsse wurden mit Hilfe der kommerziell verfügbaren Ökobilanzsoftware „Umberto“ (Version 5.6) durchgeführt. Zur Berechnung der Sachbilanz wurden die in den einzelnen F&E-Projekten identifizierten Prozesse zu Bilanznetzen verknüpft und anschließend unter Berücksichtigung der festgelegten funktionellen Einheit berechnet. Dieses Bilanzierungsmodell ermöglicht Ergebnisdarstellungen der Sachbilanzen, die über globale Input/Output-Tabellen hinausgehen: So können die Ergebnisse auch nach Modulen bzw. Teilbilanzen ausgewiesen werden. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden diese tiefer gehenden Auswertungen und Darstellungen der Ergebnisse für diejenigen Teilprozesse bzw. Subnetze vorgenommen, die einen hohen Beitrag zu den jeweiligen Ergebnissen aufwiesen.

### 3.3. Wirkungsabschätzung und Auswertung

Allgemein werden in der Wirkungsabschätzung die potenziellen Umweltwirkungen auf der Basis der Ergebnisse der Sachbilanz ermittelt. Hierzu werden die Ergebnisse der Sachbilanz mit spezifischen Wirkungskategorien und Wirkungsindikatoren verknüpft, um die hieraus resultierenden potenziellen Wirkungen zu erkennen.

Dabei wurden zunächst die ermittelten Sachbilanzdaten zu Umweltwirkungskategorien zugeordnet (Klassifizierung). In einem zweiten Schritt wurden die Sachbilanzdaten innerhalb der Wirkungskategorien modelliert (Charakterisierung) und anschließend im dritten Schritt die Standard-Umweltwirkungskategorien ermittelt.

Dabei handelt es sich um

- den Verbrauch energetischer Ressourcen (KEA),
- das Treibhauspotenzial (GWP),
- das Versauerungspotenzial (AP),
- das Eutrophierungspotenzial (EP) sowie
- das Photooxidantienpotenzial (POCP).

Im Endbericht der Studie werden die berücksichtigten Wirkungskategorien näher beschrieben.

Weitere mögliche Wirkungskategorien, wie beispielsweise das Ozonabbaupotenzial sowie die Flächeninanspruchnahme wurden für die in der vorliegenden Studie untersuchten Fragestellungen und Prozesse als nicht relevant eingeschätzt und daher nicht näher betrachtet.

---

<sup>2</sup> Hierbei wurde z.B. betrachtet, ob es sich bei den Daten um gemessene, berechnete oder abgeschätzte Werte handelt.



Im Rahmen der **Auswertung** werden zunächst die **Gesamtergebnisse** dargestellt, die für die zuvor skizzierten Wirkungskategorien ermittelt werden konnten. Auf dieser Basis wird eine Beurteilung des Ergebnisportfolios auf der Grundlage einer Beitrags-, Sensitivitäts- und Signifikanzanalyse durchgeführt:

- **Beitragsanalyse:** Im Rahmen der Beitragsanalyse wird untersucht, welche Prozesse bzw. Prozessparameter am stärksten zum Gesamtergebnis beitragen. Ziel dieser Betrachtung ist neben einer Plausibilitätsprüfung die Identifizierung derjenigen Parameter, die aufgrund ihrer Relevanz einen Erfolg versprechenden Ausgangspunkt für eine Optimierung der betrachteten Neuentwicklung unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten liefern. Diese Optimierungspotenziale werden im Rahmen der Auswertung näher spezifiziert sowie in Hinblick für die jeweils erforderlichen Voraussetzungen und Erfolgsaussichten diskutiert.
- **Sensitivitätsanalyse:** Im Zuge der Auswertung wird ebenfalls überprüft, wie stark sich die ermittelten Ergebnisse in Abhängigkeit von Annahmen und Randparametern verändern können. Dies geschieht durch Variation der als besonders sensitiv identifizierten Parameter (z.B. in Form einer so genannten „Best Case“- bzw. „Worst Case“-Annahme) und Ermittlung der zugehörigen Ergebnisse für die betrachteten Systeme.
- **Signifikanzanalyse:** Gegenstand der Signifikanzanalyse ist die Frage, wie belastbar die Schlussfolgerungen und Empfehlungen schließlich in Abhängigkeit der Ergebnisse der Beitrags- und der Sensitivitätsanalyse sind. Auf diesen Aspekt wird bei der Dokumentation im Rahmen der Ergebnisdiskussion näher eingegangen.

#### 4. Charakterisierung der bewerteten F&E-Projekte und Zusammenfassung der Analyseergebnisse

Im Folgenden werden die im Rahmen des Bewertungsprojekts betrachteten F&E-Projekte charakterisiert sowie die wesentlichen Ergebnisse der vergleichenden Nachhaltigkeitsbewertungen vorgestellt.

##### 4.1. F&E-Projekt I: Elektrochemische Verfahren in der Aquakultur

Im Rahmen des F&E-Projektes „Elektrochemische Verfahren in der Aquakultur“ (AZ: 28126-31; Kurztitel „EVA“) wurde untersucht, inwiefern die erforderliche Entkeimung von Kreislaufwasser aus geschlossenen Aquakultur-Kreislaufanlagen mittels eines Elektrolyseverfahrens erfolgen kann. Ziel des F&E-Projektes war es daher, eine effektive Alternative zur klassischen Ozonierung bereitzustellen. Dieses Projekt wurde an den Forschungseinrichtungen der Gesellschaft für Marine Aquakultur in Büsum (GMA Büsum) durchgeführt.

Zur Desinfektion des Kreislaufwassers wurde im F&E-Projekt ein Elektrolyseverfahren eingesetzt, bei dem im Zuge der Elektrolyse an Diamant-Elektroden Hydroxid-Ionen entstehen. Diese übernehmen die Funktion des Ozons als primäres Oxidationsmittel. In Wasser wirken Hydroxid-Ionen hoch reaktiv, was zwar den Vorteil großer Effektivität, aber auch den Nachteil einer kürzeren Halbwertszeit und damit einer kürzeren Wirkdauer im Vergleich zu Ozon mit sich bringt. Die Neuentwicklung wurde für das Wasseraufbereitungssystem einer landbasierten marinen Kreislaufanlage mit einem Gesamtvolumen von 40.000 Litern entwickelt; als Besatzfisch für die Testläufe wurde der Steinbutt (*Scophthalmus maximus*) betrachtet. Bei diesem System handelte es sich um eine Forschungsanlage, mit welcher die grundsätzliche Machbarkeit der neuen Technik demonstriert werden sollte. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden mehrere Versuchsdurchläufe absolviert, wobei die Anlage jeweils über einen Zeitraum von mehreren Tagen (ca. 10 bis 14 Tage)

in Betrieb war. Ein Dauerbetrieb, wie er unter ökonomischen Gesichtspunkten anzustreben wäre, war nicht Gegenstand des Forschungsvorhabens.

Im Rahmen der Bewertung des F&E-Vorhabens durch das Öko-Institut wurde die Aufbereitung von 1.000 Litern Prozesswasser aus der Steinbutt-Aquakultur als Vergleichsgröße für die Nachhaltigkeitsbewertung festgelegt. Die ökobilanzielle Untersuchung kam zu dem Ergebnis, dass die in ihrer Wirkung nutzengleichen Systeme auch aus Umweltsicht als gleichwertig anzusehen sind: So bestehen bei allen betrachteten Standard-Wirkungskategorien keine signifikanten Unterschiede zwischen Neuentwicklung und Referenztechnologie. Beispielsweise beträgt für beide Verfahren das Treibhausgaspotenzial 0,35 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro 1.000 Litern behandeltem Prozesswasser. Das Projektziel, mit dem Elektrolyseverfahren eine effektive Alternative zur klassischen Ozonierung aufzeigen zu können, konnte demzufolge erreicht werden. Aufgrund des fehlenden Dauerbetriebs des EVA-Aggregats können hingegen keine abschließenden Aussagen zur tatsächlichen Standzeit der Diamant-Elektroden getroffen werden, die als Investitions- bzw. Ausrüstungsgut bei der Modellierung nicht berücksichtigt wurden. Zusätzlich zur ökobilanziellen Analyse wurden im Rahmen der Nachhaltigkeitsbewertung auch ökonomische Aspekte betrachtet. Aus ökonomischer Perspektive konnten auf dieser Basis Anhaltspunkte für eine mögliche Vorteilhaftigkeit des EVA-Verfahrens gegenüber der klassischen Ozonierung aufgezeigt werden, wie insbesondere der Vergleich der Kosten für die Bereitstellung von Strom und Sauerstoff gezeigt hat. Die Mehrkosten durch den zusätzlichen Strombedarf des EVA-Aggregats liegen demnach bei etwa 0,3 Cent pro 1.000 Litern behandeltem Prozesswasser und damit um den Faktor 7 unter den Kosten für die Bereitstellung des für die Ozonierung erforderlichen flüssigen Sauerstoffs (1,8 Cent).

Im Hinblick auf eine mögliche Weiterentwicklung der neu entwickelten Prozesstechnik ist zu erwähnen, dass der im Zuge der hier angestellten Untersuchung identifizierte, gegenüber der klassischen Ozonierung höhere Strombedarf des EVA-Systems im Wesentlichen auf den Betrieb einer zusätzlichen Pumpe zurückzuführen ist. Laut Aussage der Verantwortlichen des F&E-Projektes ist es jedoch denkbar, dass das EVA-Aggregat nicht wie bislang in einem eigenen Kreislauf und damit unter Einsatz einer eigenen Pumpe betrieben wird, sondern beispielsweise auch einer Proteinabschäumung vorgeschaltet werden kann. Somit ließe sich auf eine eigene Pumpe für das EVA-Verfahren verzichten und entsprechend Strom einsparen.

Weiterhin kann in Hinblick auf Optimierungspotenziale davon ausgegangen werden, dass bei einer Produktionsanlage die für die Elektrolyse erforderlichen Netzteile über eine höhere spezifische Effizienz als die bei der betrachteten Forschungsanlage verwendeten Bauteile verfügen werden und dadurch eine optimale Einstellung der Leistungsaufnahme an die jeweils vorliegenden Prozessparameter ermöglicht wird.

#### **4.2. F&E-Projekt II: Ultraschall-UV-Desinfektionssystem für Kreislaufanlagen in der Aquakultur**

Ziel des F&E-Projektes „Ultraschall-UV-Desinfektionssystem für Kreislaufanlagen in der Aquakultur“ (AZ: 2 28130-31; Kurztitel „US/UV“) war es, die Machbarkeit einer Wasseraufbereitung zu demonstrieren, welche unabhängig von Ozon ist und zugleich hohe Wasserqualitäten für einen kontinuierlichen Einsatz in kreislaufgeführten Aquakultur-Anlagen sichert. Das Projekt wurde von der Firma BANDELIN electronic GmbH & Co. KG in Kooperation mit der AquaVet Technologies Ltd. (Israel) und dem Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) in Berlin durchgeführt. Im Projekt wurde angestrebt, über ein Zwei-Komponenten-System die desinfizierende Wirkung durch Behandlung mit UV-Licht und die günstigen Eigenschaften von niederfrequentem Ultraschall (US) zu kombinieren. Neben der Identifikation der für beide Prozessschritte

jeweils relevanten Prozessparameter sollte weiterhin geprüft werden, inwiefern sich die beiden genannten Aufbereitungskomponenten sinnvoll kombinieren lassen. Eine solche Kombination könnte beispielsweise ein Gegenstrom-Reaktor sein. Die im US/UV-Projekt entwickelte Technologie stellt eine Neuerung dar, die eine besonders effektive Desinfektion von Kreislaufwasser erlauben soll. Übergeordnetes Ziel war es, den Keimdruck, also die Gefahr des Entstehens von Krankheiten während des Dauerbetriebs einer Kreislaufanlage, auf ein für die Fische unbedenkliches Maß zu begrenzen und damit einen Beitrag zu einem dauerhaften Betrieb einer Kreislaufanlage beizutragen.

Als Vergleichsgröße für die durchgeführte Nachhaltigkeitsanalyse wurde die Aufbereitung von 1.000 Litern mit Krankheitskeimen belastetem Wasser im so genannten „Single Pass“-Verfahren festgelegt. Die Ergebnisse der ökobilanziellen Untersuchung zeigen, dass sich der zusätzliche Betrieb eines Moduls zur Behandlung des Wassers mit niederfrequentem Ultraschall im Vergleich zur alleinigen Behandlung des Wassers mit UV-Licht entsprechend auf den Energiebedarf der Neuentwicklung auswirkt. Das auf Basis von Primärdaten aus dem F&E-Projekt berechnete Treibhausgaspotenzial für die kombinierte Anwendung liegt daher grundsätzlich über dem jeweiligen Referenzszenario, der alleinigen Behandlung des Wassers mit UV-Licht.

Die im F&E-Projekt entwickelte Verfahrenstechnik wird derzeit in ersten Einsatz-Experimenten in großtechnischen Aquakultur-Kreislaufanlagen getestet. Dennoch lagen zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Untersuchung noch keine gesicherten Erkenntnisse über den dauerhaften Einsatz der Technik in kommerziell betriebenen Aquakultur-Anlagen vor.

In Hinblick auf einen möglichen Zusatznutzen des entwickelten US/UV-Systems können sich allerdings positive Effekte bezüglich einer geringeren Sterblichkeit der Besatzfische ergeben, die sich auch aus ökologischer Sicht positiv auswirken können. Hierzu wurden sowohl qualitative Aspekte betrachtet als auch eine semi-quantitative überschlägige Berechnung durchgeführt. Auf Grundlage dieser Abschätzungen konnte gezeigt werden, dass sich unter bestimmten Voraussetzungen ein ökologischer Vorteil für das US/UV-Verfahren ergeben kann. Dieser liegt vor, falls durch die Neuentwicklung eine ca. 20% höhere Überlebensquote für die gezüchteten Fische erreicht wird. Die hierzu angestellte Überschlagsrechnung sollte allerdings basierend auf den Ergebnissen künftiger Experimente verifiziert werden.

Ein weiterer, potenzieller Vorteil des US/UV-Verfahrens besteht in den möglicherweise positiven Auswirkungen einer effektiveren Wasserentkeimung auf den Wachstumsprozess der Besatzfische. Dadurch könnten sich die Haltungsbedingungen der Besatzfische und damit letztlich die Effizienz des Gesamtprozesses steigern lassen, woraus wiederum ökologische und ökonomische Nutzenaspekte entstehen würden. Allerdings konnten aufgrund der zur Verfügung stehenden Datenbasis keine quantitativen Aussagen getroffen werden.

Um die Umweltleistung der Neuentwicklung zu steigern, wird eine Verfahrensoptimierung vorgeschlagen, die einen kombinierten UV/US-Betrieb nur unter entsprechendem Erregerdruck vorsieht und nach dem Wegfall des erhöhten Erregerdruckes die Aufbereitung auf weniger aufwändige Methoden (wie die alleinige Behandlung mit UV-Licht) beschränkt. Je nach Stand des Ausbaus der Aquakultur-Infrastruktur könnten sich diesbezüglich auch gänzlich neue Anwendungsszenarien wie die zeitlich begrenzte Vermietung bzw. das Leasing oder Sharing-Konzepte als interessante Geschäftsmodelle für die Neuentwicklung erweisen.

### 4.3. F&E-Projekt III: Entwicklung einer umwelt- und fischgesundheitsfreundlichen Technologie zur Verringerung der Stickstoff und Mikropartikelfracht in Aquakultur Kreislaufanlagen

Das F&E-Projekt „Entwicklung einer umweltschonenden Technologie in der Aquakultur zur Entnahme von Stickstoff und Mikropartikeln in Kreislaufanlagen“ (AZ-28092-23, Kurztitel „Verringerung Mikropartikel“) hatte zum Ziel, ein Verfahren zur Senkung des Frischwasserbedarfs in geschlossenen Kreislaufanlagen zu entwickeln. Um den Wasserkreislauf der zur Verfügung stehenden Testanlage weitestgehend zu schließen, wurde ein biologisches Verfahren zur Denitrifikation (d.h. der Entfernung von Nitrat-Stickstoff) mit einer Membraneinheit zur Elimination von Feststoffen kombiniert. Beide Prozesse wurden in einem Prozess, dem Membran-Denitrifikations-Reaktor (MDR) gekoppelt. Zusätzlich sollte die bei der Denitrifikation entstehende Biomasse mengenmäßig erfasst und hinsichtlich der Möglichkeiten zur weiteren Nutzung charakterisiert werden. Im Projekt, das in den Einrichtungen des Instituts für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft (ISWA) der Universität Stuttgart durchgeführt wurde, wurden zunächst verschiedene Trägermaterialien als Aufwuchs-Material für denitrifizierende Bakterien getestet und in einem Fließbettreaktor mit nitrathaltigem Wasser beaufschlagt. Über Reibungseffekte an den beweglich gelagerten Trägern wurde kontinuierlich Biomasse abgetragen, die dem System über den Schlammabzug entnommen werden kann. Wichtige Unterziele des F&E-Projekts bestanden darin, die Wechselwirkung von Denitrifikation und Membranreinigung zu untersuchen, und darüber hinaus das Potenzial zu ermitteln, durch Akkumulation von Phosphat und Nitrat in der entstehenden Biomasse den unerwünschten Nährstoffeintrag in die Umwelt (Eutrophierung) zu begrenzen. Nach erfolgreicher Demonstration der technischen Machbarkeit einer ersten Projektphase wurde das Verfahren in einer Anlage im Technikumsmaßstab getestet. Weiterhin sollte auch untersucht werden, ob sich durch die Denitrifikation die Lebens- und Haltungsbedingungen der Fische verbessern lassen und dadurch eine Verbesserung des Tierwohls in Aquakultur-Anlagen geleistet werden kann.

Für die durchgeführte Nachhaltigkeitsanalyse der Neuentwicklung wurde als Vergleichsgröße die Reduktion von 1 Kilogramm Nitrat-Stickstoff (Nitrat-N) aus dem Prozesswasser einer mit Karpfen besetzten Kreislaufanlage festgelegt. Die Ergebnisse der ökobilanziellen Untersuchung zeigen, dass sich die Verwendung eines MDR in Form einer potenziell höheren Umweltbelastung im Vergleich zu einem Haltungssystem ohne MDR niederschlägt. Dies gilt jedoch nur dann, wenn bei einem Einsatz der MDR in einer großtechnischen Anlage die Betriebsbedingungen nicht optimiert werden können und insbesondere die Stickstoff-Eliminierungskapazität des Reaktors nicht voll ausgeschöpft werden kann. So liegt zum Beispiel das Treibhausgaspotenzial der Neuentwicklung um ca. 35% über Wert des Referenz-Haltungssystems. Gleiches gilt für den kumulierten Energieaufwand. Für das Versauerungs- und das Photooxidantien-Bildungspotenzial ergibt sich für die Anlage mit MDR eine Mehrbelastung in Höhe von ca. 25% gegenüber der Referenz. Beim Eutrophierungspotenzial wird der durch den Stromverbrauch verursachte Mehraufwand durch den geringeren Eintrag eutrophierender Substanzen in die Umwelt kompensiert, so dass sich die beiden Systeme bei dieser Umweltwirkungskategorie folglich nicht unterscheiden.

Bei der Einordnung dieser Ergebnisse ist jedoch zu beachten, dass die im F&E-Projekt entwickelte Verfahrenstechnik derzeit noch nicht in kommerziellen Aquakultur-Kreislaufanlagen eingesetzt wird, und bei der Auslegung der zur Verfügung stehenden Technikumsanlage Effizienzaspekte insbesondere bei der Pumpentechnik bislang nicht ausreichend berücksichtigt werden konnten. So ist der MDR in der gegenwärtigen Auslegung in der Lage, ein Vielfaches des tatsächlich in das System eingetragenen Nitrat-N aus dem Prozesswasser zu reduzieren. Im Zuge der im Bewertungsprojekt durchgeführten Sensitivitätstests konnte gezeigt werden, dass sich der bei der betrachteten Anlage festgestellte ökologische Nachteil des MDR-Verfahrens mit zunehmender Stick-

stofffracht verringert. So konnten letztlich diejenigen Nitrat-Frachten bestimmt werden, ab denen sich der Einsatz eines MDR aus ökologischen Gesichtspunkten lohnt. Dieser Wert liegt größenordnungsmäßig bei einer Reduktionskapazität von 12 kg Nitrat-N bezogen auf die betrachtete Vergleichsgröße

In Hinblick auf ökologische Optimierungspotenziale ist ferner davon auszugehen, dass sich der gegenwärtig sehr hohe spezifische Energiebedarf des MDR bei einer Anlage im Produktionsmaßstab durch eine optimale Auslegung des Reaktors auf die zu erwartenden Stickstofffrachten und insbesondere entsprechend angepasste Pumpen deutlich reduzieren lässt.

Im Zuge der durchgeführten tierärztlichen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass das MDR-Verfahren dazu beitragen kann, den Stresspegel der Besatzfische signifikant zu senken. Gleichzeitig konnten Anzeichen für eine positive Auswirkung des MDR-Verfahrens auf die Mikroflora im Haltungssystem gefunden werden. Aus der Grundlage dieser Ergebnisse kann festgehalten werden, dass durch den Einsatz des MDR-Verfahrens unter Tierwohl-Aspekten ein Zusatznutzen für die Besatzfische besteht. Allerdings konnte dieser Zusatznutzen aufgrund der zur Verfügung stehenden Datenbasis nicht in ökologisch bzw. ökonomisch quantifizierbare Größen übersetzt werden.

Ein weiterer, auf Basis der verfügbaren Daten ebenfalls noch nicht abschließend zu bewertender Faktor ist die Auswirkung der effektiveren Prozesswasseraufbereitung auf den Wachstumsprozess und damit die Effizienz des gesamten Prozesses. Sollte es im Zuge weiterer Studien gelingen, bei der Verwendung des MDR-Verfahrens eine signifikant höhere Überlebensrate nachzuweisen, ist nicht auszuschließen, dass sich bei einer Betrachtung über den gesamten Produktionszyklus ökologische wie ökonomische Vorteile für die Neuentwicklung ergeben. Eine quantifizierende Einschätzung ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt jedoch nicht möglich und muss künftigen Untersuchungen vorbehalten bleiben.

#### **4.4. Nährstoff-Recycling in landbasierten marinen Kreislaufanlagen durch die integrierte Produktion von Algenbiomasse**

Gegenstand des F&E-Projektes mit dem Titel „Nährstoff-Recycling in landbasierten marinen Kreislaufanlagen durch die integrierte Produktion von Algenbiomasse“ (AZ 28173-23; Kurztitel „Algenbiomasse“) war die Integration photoautotropher Verfahren (durch die Kultur von Algen in Photobioreaktoren) in Aquakulturkreislaufanlagen zur Fischzucht, um im Wasser gelöste Nährstoffe gezielt einem Recycling zurückzuführen. Die gezüchteten Algen sollen auch auf ihre Eignung als Futtermittel geprüft werden. Die Beantragung dieses Vorhabens wurde durch die Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes (HTW Saarland) vorgenommen; als Partner waren IGV (Nutheta), Subitec (Stuttgart) und Erwin Sander Elektroapparatebau (Uetze-Eltze) beteiligt.

Mögliche Vorteile der Neuentwicklung sind die Schließung von Stoffkreisläufen sowie die Entfernung von im Wasser gelösten Nährstoffen, v.a. in Hinblick auf Phosphat- und Stickstoff-Belastung von Aquakulturen durch Algen. Im F&E-Projekt selbst sollen die Stoff- und Energieströme bilanziert werden, nährstoffarmes Restwasser kann der Aquakulturanlage wieder zugeführt werden.

Im Rahmen des hier vorliegenden Bewertungsprojektes wurde in Abstimmung mit der DBU jedoch darauf verzichtet, das F&E-Projekt „Halophyten“ einer vergleichenden Nachhaltigkeitsbewertung zu unterziehen. Hauptgrund hierfür war, dass die Projektförderung seitens der DBU nach Ablauf der ersten Phase (Laborphase) beendet wurde und am Ende dieser Laborphase keine ausreichend belastbaren Daten für eine vergleichende Nachhaltigkeitsbewertung zur Verfügung standen.

#### 4.5. F&E-Projekt V: Biologische Abwasserreinigung in landbasierten marinen Kreislaufanlagen durch integrierte Kultur von Halophyten

Gegenstand des Projektes „Biologische Abwasserreinigung in landbasierten marinen Kreislaufanlagen durch integrierte Kultur von Halophyten“ (AZ 27708-23, Kurztitel „Halophyten“) war es, die zuvor ungenutzten, gelösten Nährstoffe aus dem Prozesswasser einer geschlossenen Salzwasser-Kreislaufanlage zum Aufbau hochwertiger Biomasse einzusetzen und sie damit einer sinnvollen Nutzung zuzuführen. Gleichzeitig soll damit der unerwünschte Eintrag von Nährstoffen in die Umwelt verhindert werden. Um Verunreinigung des Prozesswassers zu ermöglichen, wurden die Pflanzen hydroponisch, also mit den Wurzeln direkt im Prozesswasser, kultiviert. Durch den Einsatz salztoleranter Pflanzen (Halophyten) sind keine aufwändigen Prozesse zur Entsalzung des Wassers erforderlich. Die im Wasser gelösten Nährstoffe werden von den Pflanzen aufgenommen und in Biomasse umgewandelt. Das derart biologisch aufbereitete Wasser kann anschließend dem Prozesswasserkreislauf der Kreislaufanlage wieder zugeführt werden. Die Halophyten stellen im Kreislaufprozess ein Sekundärprodukt dar, das die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems erhöhen soll. Die Kombination von Fischzucht in Aquakultur und Pflanzenzucht in Hydroponik wird auch als Aquaponik bezeichnet. Das Projekt wurde vom Forschungsbereich Aquakultur der HTW Saar durchgeführt.

Im Zuge der Bewertung des F&E-Vorhabens durch das Öko-Institut wurde mit der Fischzucht im Netzkäfig ein grundsätzlich umweltoffenes Aquakultur-System als Referenzsystem betrachtet. Als Vergleichsgrundlage der Nachhaltigkeitsbewertung wurde jeweils der Eintrag von Nitrat-Stickstoff festgelegt, der über das Fischfutter in die jeweiligen Systeme eingebracht wird. Da der Stickstoff im geschlossenen Kreislauf als Nährstofflieferant und damit als Dünger für das Wachstum der Pflanzen wirkt, weist das Aquaponik-System einen Zusatznutzen auf. Um die Nutzengleichheit beider Systeme als Basis eines fairen Vergleichs sicherzustellen, wurde bei der Fischzucht im Netzkäfig zusätzlich noch die Bereitstellung der äquivalenten Menge an künstlich produziertem Dünger berücksichtigt.

Die Ergebnisse der ökobilanziellen Untersuchung zeigten, dass sich der höhere spezifische Primärenergiebedarf der Fischzucht in einer geschlossenen Kreislaufanlage (v.a. aufgrund der Pumpensysteme) in Form eines höheren Treibhausgaspotenzials niederschlägt. Die integrierte Produktion liegt hier etwa 60% über den Werten, die sich für die Fischzucht im Netzkäfig inklusive der Herstellung des künstlichen Stickstoff-Düngers ergeben. Demgegenüber steht ein umgekehrtes Ergebnis für den unerwünschten Eintrag von Nährstoffen in aquatische Ökosysteme: In Hinblick auf das Eutrophierungspotenzial weist das Aquaponik-System eine im Vergleich zum Referenzsystem rund 80% geringere Umweltbelastung auf. Die ökobilanzielle Untersuchung konnte zudem zeigen, dass bei den zwei Systemen jeweils unterschiedliche Parameter das Ergebnis bestimmen. Während sich beim Netzkäfig die Futtermittelverwertung als besonders ergebnisrelevant erwies, tragen bei der integrierten Produktion die energetischen Aufwendungen in der Anlage einen wesentlichen Teil zum Umweltbelastungspotenzial bei. Entsprechend wurden die Ergebnisse mit Sensitivitätsanalysen abgesichert.

So konnte gezeigt werden, dass bei einer schlechteren Futtermittelverwertung (5 kg Futter / kg Fisch anstelle von 2,5 kg Futter / kg Fisch) im Netzkäfig ein vergleichbarer Primärenergieaufwand und damit auch ein ähnliches Treibhausgaspotenzial wie bei der Aquaponik-Kultur besteht. In den übrigen Wirkungskategorien ergibt sich in diesem Fall ein deutlicher Umweltvorteil für die Neuentwicklung.

Für das Ergebnis der integrierten Produktion ist der für die Prozesstechnik benötigte Strom von entscheidender Bedeutung. Während die ökobilanzielle Analyse mit dem durchschnittlichen

deutschen Strommix bilanziert wurde, stand laut Aussage der Verantwortlichen des F&E-Projekts für die Stromversorgung der Kreislaufanlage eine Photovoltaik-Anlage zur Verfügung, was erhebliche Auswirkungen auf die spezifische Umweltbilanz haben kann. Die Anrechnung eines anlagen-spezifischen Emissionsprofils war in diesem Fall jedoch aus zwei Gründen nicht möglich: Zum einen bezieht die Fischzucht-Anlage über Nacht und bei nicht ausreichender Versorgung durch die PV-Anlage Strom aus dem Stromnetz, zum anderen wird der von der Fischzucht-Anlage nicht genutzte PV-Strom gegen Einspeisevergütung ins Stromnetz eingespeist. Geht man jedoch davon aus, dass der Strommix in Zukunft einen größeren Anteil an erneuerbaren Energieträgern aufweisen wird, könnte sich dies vorteilhaft für die Neuentwicklung auswirken. Eine hierzu erstellte überschlägige Berechnung unter Ansetzung eines Strommix mit 50% Photovoltaik-Anteil konnte zeigen, dass dies das Treibhausgaspotenzial gegenüber der bisherigen Annahme um 30% verringern würde.

Für den Vergleich des umweltoffenen Netzkäfig-Systems mit einer Anlage zur integrierten Produktion können zudem weitere, im Rahmen einer ökobilanziellen Betrachtung jedoch nur schwer zu quantifizierende Aspekte von Bedeutung sein. So stellt zum Beispiel die Flucht von Fischen aus Netzgehegen in die umgebenden Ökosysteme nicht nur einen Zuchtverlust dar, sondern auch einen möglicherweise negativen Einfluss auf die z.T. sensiblen marinen Ökosysteme.

#### **4.6. F&E-Projekt VI: Hormonfreie Tilapiaproduktion sichert nachhaltige Fischproduktion in Deutschland**

Das Ziel des F&E-Projekts „Hormonfreie Tilapiaproduktion sichert nachhaltige Fischproduktion in Deutschland“ (AZ-28177; Kurztitel „Hormonfreie Tilapiaproduktion“) bestand darin, die Machbarkeit einer Tilapia-Zucht in Deutschland zu demonstrieren, bei der auf die Zugabe von Hormonen verzichtet werden kann. Das Projekt wurde an der Georg August Universität Göttingen, von der Abteilung Aquakultur und Gewässerökologie, Department für Nutztierwissenschaften, durchgeführt. Die im Rahmen des Projektes durchgeführten Mastversuche wurden in den Anlagen der Wermsdorfer Fisch GmbH durchgeführt, wobei als Besatzfischart Niltilapien (*Oreochromis niloticus*) ausgewählt wurden. Diese Art ist vergleichsweise robust und weist zudem eine relativ hohe Toleranz gegenüber suboptimalen Wasserqualitäten auf und liefert ein bei den Verbraucherinnen und Verbrauchern geschätztes Filet. Um eine wirtschaftliche Zucht von Tilapien in Deutschland zu ermöglichen, wurde im F&E-Projekt die Aufzucht von hauptsächlich männlichen Populationen angestrebt. Die Steuerung der Geschlechtsentwicklung einer genetisch gemischten Population in eine phänotypisch rein männliche Population wurde dabei durch eine genau definierte Wärmebehandlung der Tilapien erreicht. Nach der Brutphase wurden die Setzlinge für einen Zeitraum von 10 Tagen (vom 10.-20. Lebenstag) einer Wärmebehandlung ausgesetzt, indem die Wassertemperatur vorübergehend von 28°C auf ca. 36°C erhöht wurde. Durch diese Wärmebehandlung kann auf die – in außereuropäischen Ländern sonst übliche – Hormonbehandlung verzichtet werden, welche die Referenztechnologie in diesem Falle darstellt.

Als Vergleichsgröße für die Nachhaltigkeitsbewertung wurde 1 Kilogramm Schaffkörper (in vertriebsfertigem Zustand) festgelegt. Aus ökobilanzieller Sicht kann als Ergebnis festgehalten werden, dass beide verglichenen Verfahren bezüglich ihrer potenziellen Umweltauswirkungen vergleichbar sind. Dadurch lässt sich zeigen, dass der Mehraufwand für die Wärmebehandlung der Tilapien in der Anfütterungsphase nicht notwendigerweise zu einem Anstieg der Umweltwirkungen des Gesamtprozesses Tilapia-Zucht führen muss, da aufgrund der höheren Schlachtgewichte der wärmebehandelten Fische weniger Tiere als bei der Hormonbehandlung aufgezogen werden müssen. Dies bedeutet letztlich ein höheres Filetgewicht und dadurch einen höheren Ertrag pro Fisch.

Berücksichtigt man ferner, dass sich durch den Verzicht des Hormoneinsatzes zusätzliche, durch ökobilanzielle Analysen kaum erfassbare Nutzenaspekte ergeben, so werden die Vorteile für die Tilapien-Zucht mit Wärmebehandlung klar erkennbar. So ist der Einfluss des üblicherweise verwendeten Methyltestosteron auf andere Fischarten (Nicht-Ziel-Organismen) in mehreren Untersuchungen belegt worden und stellt insbesondere für die Tilapia-Zucht in umweltoffenen Haltungssystemen ein nicht zu vernachlässigendes, wenn zugleich auch nur schwer zu quantifizierendes Risiko dar. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund, dass der überwiegende Anteil der weltweiten Tilapia-Zucht in umweltoffenen Anlagen erfolgt. Auch innerhalb nahezu geschlossener Kreislaufanlagen bleibt nach heutigem Stand der Technik ein Rest an Wasseraustausch erforderlich. Es ist bekannt, dass hormonelle Stoffe ihre Wirkung auf das endokrine System von Organismen auch noch in sehr geringen Dosierungen entfalten können. Auch hier ist die Quantifizierung des potenziellen Risikos auf Basis der derzeit verfügbaren Studien noch schwierig. In diesem Zusammenhang ist zu berücksichtigen, dass die potenziellen Umweltauswirkungen durch einen möglichen Hormoneinsatz im Rahmen der vorliegenden ökobilanziellen Analyse aufgrund der verfügbaren Datenbasis nicht quantitativ berücksichtigt werden konnten.

In Hinblick auf vorhandene Optimierungspotenziale sollte im Zuge von Folgestudien quantifiziert werden, inwieweit sich eine mögliche Effizienzsteigerung bei der Beckenheizung positiv auf den ökobilanziellen Vergleich zwischen Wärme- und Hormonbehandlung niederschlägt. Ein weiterer Ansatzpunkt für die Senkung der potenziellen Umweltauswirkungen der Neuentwicklung wäre eine Beheizung des Fischhaltebeckens durch Solarthermie. Auch der Einsatz von Wärmetauschern oder – sofern ökonomisch realistisch – die Isolation der Fischhaltebecken könnten in dieser Hinsicht interessante Ansatzpunkte darstellen.

#### **4.7. Untersuchungen zur Einführung von Felchen (*Coregonus lavaretus*) als neue Art für die heimische Aquakultur**

Das Ziel des F&E-Projektes mit dem Titel „Untersuchungen zur Einführung von Felchen (*Coregonus lavaretus*) als neue Art für die heimische Aquakultur“ (AZ 28134-34; Kurztitel „Felchen“) besteht darin, ein komplettes Verfahren für die Aufzucht von Felchen in Aquakultur zu entwickeln. Dies schließt die Erzeugung und Aufzucht der Brut ebenso mit ein wie die Bereitstellung einer praxistauglichen Anleitung für die Neuentwicklung. Die Beantragung dieses Vorhabens wurde durch die Fischereiforschungsstelle des Landwirtschaftlichen Zentrums Baden-Württemberg (LAZBW) in Langenargen am Bodensee vorgenommen; als Partner war die ebenfalls in Langenargen ansässige Fischbrutanstalt (FBA) beteiligt.

Mögliche Vorteile der Neuentwicklung sind Entwicklung eines alternativen Verfahrens zur Zucht eines begehrten Speisefischs sowie die Bereicherung der Angebotspalette für mitteleuropäische Aquakultur-Fischzüchter. Darüber hinaus ist eine Bereitstellung von Nachzucht für Artenhilfsprogramme zu nennen.

Im Rahmen des hier vorliegenden Bewertungsprojektes wurde in Abstimmung mit der DBU jedoch darauf verzichtet, das „Felchen“-Projekt einer vergleichenden Nachhaltigkeitsbewertung zu unterziehen. Hauptgrund hierfür waren die erheblichen Probleme mit der Sterblichkeit bei der ausgewählten Besatzfischart, mit denen sich die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten konfrontiert sahen. Zum Zeitpunkt dieser Entscheidung war davon auszugehen, dass während der Laufzeit des Bewertungsprojektes keine ausreichend belastbaren Daten für eine vergleichende Nachhaltigkeitsbewertung zur Verfügung gestellt werden können.



#### **4.8. F&E-Projekt VIII: Konzeptstudie zur Erzeugung von Trockenfuttermitteln aus konservierten Nebenprodukten der Süßwasserfischverarbeitung und deren Verwertung durch karnivore Wirtschaftsfischarten**

Im Rahmen des F&E-Projekts „Konzeptstudie zur Erzeugung von Trockenfuttermitteln aus konservierten Nebenprodukten der Süßwasserfischverarbeitung und deren Verwertung durch karnivore Wirtschaftsfischarten“ (AZ-28114-34; Kurztitel „Fischnebenprodukte“) wurde die Eignung von Silierungsverfahren zur Konservierung von Fischnebenprodukten und damit als Alternative zur Tiefkühlagerung untersucht. Ein wesentlicher Bestandteil der Analyse war die Frage, wie eine zentrale bzw. ggf. auch dezentrale Weiterverarbeitung der so behandelten Fischnebenprodukte zur Herstellung von Trockenfuttermitteln für die Fischzucht ermöglicht werden und auf diese Weise zur Substitution von Fischmehl und Fischöl aus Wildfang beitragen kann (Referenztechnologie). Das Projekt wurde an den Forschungseinrichtungen des Instituts für Agrar- und Stadtökologische Projekte (IASP) an der Humboldt-Universität Berlin durchgeführt. Der Ablauf dieses F&E-Projekt kann in zwei Hauptphasen unterteilt werden: In der ersten Phase wurde zunächst ein für die gegebenen Produkthanforderungen geeignetes Verfahren zur Haltbarmachung der Fischnebenprodukte ermittelt. Anschließend wurde in der zweiten Projektphase die Eignung der konservierten Fischnebenprodukte als Formulierungsbestandteil eines Trockenfischfutters für karnivore, d.h. Fleisch fressende Wirtschaftsfischarten untersucht.

Die vergleichende Nachhaltigkeitsbetrachtung basierte auf einer Vergleichsgröße, die als „1 Kilogramm Fischnebenprodukt als Prozessinput für die Trockenfischfutterherstellung“ definiert wurde. In Hinblick auf das Konservierungsverfahren kann zunächst festgehalten werden, dass auf Basis der vorliegenden Daten und Annahmen die Silierungsverfahren gegenüber der Tiefkühlagerung aus ökobilanzieller Sicht im Vorteil sind. Dies ist auch dann der Fall, wenn von einer vergleichsweise effizienten Tiefkühlagerung ausgegangen wird. Innerhalb der Silierungsverfahren wiederum schneidet von den untersuchten Verfahren die chemische Silierung ohne Sterilisation am besten ab. Weiterhin konnte im Rahmen der ökobilanziellen Analyse nachgewiesen werden, dass der Einsatz von silierten Fischnebenprodukten als Formulierungsbestandteil in der Fischfutterherstellung in allen betrachteten Wirkungskategorien mit einem konventionell hergestellten Trockenfischfutter aus ökologischer Sicht mindestens gleichwertig ist. Für die Wirkungskategorien Versauerungspotenzial, Eutrophierungspotenzial und beim Photooxidantienpotenzial ergeben sich durch den Einsatz von Fischnebenprodukten gegenüber dem Referenzfischfutter z.T. erhebliche ökologische Einsparpotenziale (bei Photooxidantienpotenzial über 50% Reduktion).

Bezüglich der Ergebnisbeiträge stellte sich die Bereitstellung Fischmehl im Rahmen der Futterherstellung als wichtigster Einzelbeitrag zum Treibhausgaspotenzial heraus. Vor dem Hintergrund, dass die konventionelle Bereitstellung von Fischmehl bei wachsender Nachfrage das Angebot schon heute übersteigt, sollten sich Optimierungsansätze für das neu entwickelte Futter folglich auf eine Reduktion des Fischmehlanteils fokussieren. Der Fischmehlanteil liegt im Futtermittel mit siliertem Fischnebenprodukt derzeit noch über dem Fischmehlanteil im Referenz-Fischfutter. Aus produktionstechnischer Sicht stellt insbesondere der höhere Feuchtigkeitsgehalt des aus siliertem Fischnebenprodukt hergestellten Fischfutters eine Herausforderung dar. Durch die Zugabe verschiedener Komponenten zur Bindung dieser Feuchtigkeit, unter anderem der Erhöhung des Blutmehlanteils, könnte es gelingen, den Fischmehlanteil im Fischfutter mit siliertem Fischnebenprodukt im Zuge weiterer Optimierungszyklen auf einen vergleichbaren Anteil wie beim Referenz-Fischfutter und auf diese Weise auch die zugehörigen Umweltauswirkungen zu reduzieren.

Der hier vorgestellten ökobilanziellen Untersuchungen liegt die Annahme zu Grunde, dass die beiden betrachteten Trockenfuttermittel in der Fischmast je eingesetztem Kilogramm Fischfutter einen vergleichbaren Biomassezuwachs bewirken. Im Zuge der Produktformulierung wurde von

Seiten des F&E-Projektes großer Wert darauf gelegt, dass das neu formulierte Fischfutter eine hinsichtlich der Nährstoffe, Proteine und Kohlenhydrate vergleichbare Zusammensetzung wie ein konventionelles Produkt aufweist. Hierfür wurden bereits Akzeptanz- aber noch keine Mastversuche durchgeführt. Eine Validierung der vorliegenden Bilanzierung auf Basis der Ergebnisse dieser Mastversuche wird als sinnvoll erachtet und ausdrücklich empfohlen. Weiterhin ist im Rahmen einer Absicherung der Ergebnisse zu überprüfen, ob die angenommene Nutzengleichheit der beiden Trockenfischfutter zulässig ist. Weitere Untersuchungen auf Basis der Mastversuche sind hier ebenfalls zu empfehlen. Grundlage einer entsprechenden Untersuchung wäre eine mögliche Erweiterung der Vergleichsgröße, die wie folgt vorgenommen werden könnte: „Bereitstellung der benötigten Menge Futtermittel, um 1 kg Gewichtszuwachs bei einer karnivoren Wirtschaftsfischart zu erreichen.“

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass bezüglich des Verfahrens der Silierung von Fischnebenprodukten und dessen Einsatz als Futtermittelbestandteil ein durch ökobilanzielle Methoden quantifizierbares Umweltentlastungspotenzial besteht. Über die ökobilanzielle Perspektive hinaus besteht ein weiterer Vorteil der Neuentwicklung darin, dass mittels dieses Verfahrens aufgrund der Substitution von Fischmehl und -öl aus Wildfang ein erheblicher Beitrag zur Schonung der natürlichen maritimen Ressourcen geleistet und zudem die Nutzung von Fischabfällen insbesondere auch in kleineren Verarbeitungsbetrieben wirtschaftlich durchgeführt werden kann. Dies wiederum eröffnet die Möglichkeit eines breitflächigen Einsatzes des Verfahrens.

#### **4.9. F&E-Projekt IX Projekt 9 – Einsatz der Mikroalge *Pavlova spec.* als alternatives Futtermittel für die Larvenaufzucht in der marinen Aquakultur**

Ziel des F&E-Projektes „Einsatz der Mikroalge *Pavlova spec.* als alternatives Futtermittel für die Larvenaufzucht in der marinen Aquakultur“ (AZ: 28183; Kurztitel „Pavlova“) war die Entwicklung der für eine industrielle Produktion der Mikroalge *Pavlova* geeigneten Verfahrenstechnik. Das Projekt wurde von der Firma BlueBioTech GmbH in Kooperation mit der Gesellschaft für Marine Aquakultur (GMA) durchgeführt. Das im F&E-Projekt hergestellte *Pavlova*-Produkt ist Teil der Formulierung eines neuen Futtermittels, das beim Kooperationspartner GMA in vergleichenden Fütterungsexperimenten mit einem großtechnisch produzierten Futtermittel auf Fischmehl- und Fischölbasis getestet wurde. Die Qualität der Futtermittel bzw. des Fütterungserfolgs wurde dabei im Rahmen erster Tests anhand gängiger Parameter wie dem Wachstum oder der Mortalität der Fische bestimmt.

Im Rahmen der vergleichenden Nachhaltigkeitsanalyse zeigen die Ergebnisse der ökobilanziellen Untersuchung, dass das im F&E-Projekt produzierte Algenprodukt ein größeres Umweltbelastungspotenzial aufweist als großtechnisch produzierte, konventionelle Futtermittel auf Fischmehlbasis. Bezogen auf die Vergleichsgröße der Betrachtung, die Zucht von 1.000 Kabeljau-Larven, liegt das mit dem *Pavlova*-Produkt verbundene Treibhausgaspotenzial um ca. Faktor 3 über dem des Referenz-Produkts. Hierfür sind im Wesentlichen zwei Faktoren von Bedeutung: Zum einen hat die Herstellung algenbasierter Anreicherungsprodukte derzeit einen höheren spezifischen Energiebedarf, da die Produktion algenbasierter Anreicherungsprodukte derzeit in Anlagen im Technikums-Maßstab erfolgt. Konventionelle Futtermittel auf Fischmehl- und Fischölbasis werden hingegen in weitgehend optimierten, industriellen Produktionsprozessen hergestellt. Eine industrielle Produktion von Mikroalgen der Gattung *Pavlova* ist grundsätzlich möglich, existiert derzeit jedoch noch nicht. Zum anderen führt die Fütterung mit algenbasierten Anreicherungsprodukten derzeit noch zu geringeren Überlebensraten als die konventionellen Futtermittel auf Fischmehl- und Fischölbasis. Diese Futtermittel sind als komplex formulierte Produkte exakt auf die Bedürfnisse der Zielfischart abgestimmt. Essentielle, auch in kleinsten Dosen zugesetzte Be-

standteile haben daher einen großen Einfluss auf die Überlebensrate der Fische. Demgegenüber handelt es sich bei dem algenbasierten Anreicherungsprodukt um ein noch optimierungsfähiges Produkt. Es ist durchaus denkbar, dass die Zugabe der gleichen essentiellen Bestandteile auch beim Pavlova-Produkt zu höheren Überlebensraten bei der Fischlarvenaufzucht führt. Gleichwohl ist eine quantitative Einschätzung zu den künftig erreichbaren Überlebensraten auf Basis der vorhandenen Daten derzeit nicht möglich.

Eine weitere Erkenntnis aus der ökobilanziellen Untersuchung war die Bedeutung des Anreicherungsprozesses von Lebendfutter, welcher aus ökologischer Sicht den dominierenden Prozess darstellt und für alle Futtermittel erfolgen muss. Damit konnte ein möglicher Fokus für die gezielte Weiterentwicklung der Prozesstechnik identifiziert werden. Das starke Wachstum der Aquakultur hat global zu einer starken Nachfrage nach Futtermitteln für die Aquakultur geführt, die zum überwiegenden Teil Fischmehl und Fischöl enthalten. Entsprechend den stagnierenden Erträgen aus der Fangfischerei stagnierte auch die globale Fischmehl-Produktion. Es stellt sich daher die Frage, wie bei einem weiteren Wachstum der Aquakultur der Futtermittel- und damit auch der Fischmehl- und Fischöl-Bedarf auch in Zukunft gedeckt werden kann. Eine Steigerung der Fischmehlproduktion durch Ertragssteigerungen der marinen Fangfischerei ist ohne die Inkaufnahme erheblicher ökologischer Risiken nicht denkbar. Die Erschließung hochwertiger Ersatzprodukte aus alternativen Quellen ist eine dringliche Aufgabe der Futtermittelforschung. Die Optimierung der Produktion der Mikroalge Pavlova, etwa in Form einer Weiterentwicklung der Prozesstechnik, kann vor diesem Hintergrund möglicherweise einen wichtigen Beitrag leisten.

Die wachsende Nachfrage hat in der Vergangenheit bereits zu stark steigenden Weltmarktpreisen für Fischmehl geführt. Letztlich werden sich die für den Betrieb von Aquakultur-Anlagen verantwortlichen Personen beim Einsatz verschiedener Futtermittel an den Kriterien der Qualität und dem zu zahlenden Preis orientieren. Für die Produktion von algenbasierten Ersatzprodukten ist davon auszugehen, dass sich ökologisch wie ökonomisch wirksame Effizienzgewinne, etwa in Form eines reduzierten spezifischen Energiebedarfs, realisieren lassen. Die Erzeugerpreise für algenbasierte Anreicherungsprodukte dürften demnach sinken, während für fischmehl- und fischölbasierte Anreicherungsprodukte von einem anhaltend hohen, wenn nicht sogar steigenden Preisniveau ausgegangen wird. Zusammenfassend kann daher festgehalten werden, dass Anhaltspunkte für Stärken und Optimierungspotenziale algenbasierter Anreicherungsprodukte bestehen, es jedoch darauf ankommen wird, die bestehenden Entwicklungspotenziale konsequent zu erschließen.

#### **4.10. F&E-Projekt X: Projekt 10 – Fermentation der $\Omega$ -3-Fettsäure Docosahexaensäure (DHA) mit heterotrophen Algen zur Anreicherung von Nematoden für die Fütterung von Shrimplarven in der Aquakultur**

Das F&E-Projekt „Fermentation der  $\Omega$ -3-Fettsäure Docosahexaensäure (DHA) mit heterotrophen Algen zur Anreicherung von Nematoden für die Fütterung von Shrimp-Larven in der Aquakultur“ (AZ-28110-34; Kurztitel „FeeDH-A-Shrimp“) hatte zum Ziel, ein für die Fütterung von Larven des Black Tiger Shrimp (*Penaeus monodon*) geeignetes, mit DHA-angereichertes Nematoden-Produkt zu entwickeln. Das Projekt wurde in den Forschungseinrichtungen der e-nema – Gesellschaft für Biotechnologie und biologischen Pflanzenschutz mbH (e-nema) durchgeführt. Begleitende wissenschaftliche Maßnahmen wurden an der Christian-Albrechts-Universität Kiel, Institut für Phytopathologie – Abt. Biotechnologie und biologischer Pflanzenschutz, vorgenommen. Im Projekt wurden die hinsichtlich ihres Gehalts an mehrfach ungesättigten Fettsäuren als besonders vielversprechend identifizierten heterotrophen Mikroalgen *Cryptothecodinium cohnii* und *Schizochytrium sp.* produziert. Diese weisen einen Anteil von bis zu 20% DHA in ihrer Trockenmasse auf und lassen

sich lichtunabhängig in Fermentern produzieren. Die Fermentation erfolgt in einem zweistufigen Batch-Prozess. Ein wichtiges Projektziel war auch die Entkopplung der Produktion von Futterorganismen und der Bereithaltung von Shrimp-Larven. Damit sollte ein Beitrag zum Abbau bestehender Ineffizienzen in der Shrimp-Zucht geleistet werden. Zu den Zielen des Forschungsvorhabens gehörten weiterhin die Optimierung der Verfahrenstechnik zur Produktion von DHA-angereicherten Nematoden, und die Prüfung des entwickelten Produktes auf seine Eignung als Futtermittel. Langfristig soll damit die Bereitstellung von DHA aus heterotrophen Algen zu einer Alternative zur Bereitstellung von DHA aus Fischöl werden.

Wie die im Rahmen der vergleichenden Nachhaltigkeitsanalyse durchgeführte ökobilanzielle Untersuchung zeigt, weist das produzierte Nematodenprodukt ein geringeres Umweltbelastungspotenzial als das Referenzprodukt auf. So liegt beispielsweise das Treibhausgaspotenzial um etwa 20% unter dem Wert für die Bereitstellung eines Anreicherungsproduktes auf Basis von Artemien und einem Trockenfutter auf Fischmehlbasis. Gleiches gilt sinngemäß auch für die weiteren betrachteten Wirkungskategorien. Lediglich für die Wirkungskategorie Eutrophierungspotenzial konnten keine signifikanten Unterschiede für die beiden verglichenen Futtermittel festgestellt werden. Insgesamt kann festgehalten werden, dass der Prozess der Shrimp-Larvenaufzucht einen dominierenden Einfluss auf die Ergebnisse der ökobilanziellen Untersuchung hat. Zur Bedeutung dieses Prozesses tragen wiederum der energetische Aufwand für den Betrieb von Pumpen und der Beheizung des Wassers bei. In der weiteren Steigerung der Energieeffizienz dieses Prozesses liegen demnach auch die größten Potenziale für künftige Optimierungen bei der Shrimp-Larvenzucht. Die im Rahmen des hier dargestellten Systemvergleichs ermittelte Vorteilhaftigkeit des Nematodenprodukts würde auch bei einer solchen energetischen Optimierung bestehen bleiben, wobei dessen systembedingte Vorteile im direkten Vergleich mit der Referenztechnologie noch deutlicher sichtbar werden. Die Erkenntnisse aus der ökobilanziellen Untersuchung, so zum Beispiel der dominierende Einfluss der Aufwendungen für die Shrimp-Larvenaufzucht, können die gezielte Weiterentwicklung der eingesetzten Prozesstechnik ebenso wie die Weiterentwicklung der verglichenen Produkte unterstützen.

Ein weiterer, im Rahmen der ökobilanziellen Betrachtung nicht berücksichtigter Systemvorteil besteht darin, dass durch den Einsatz von Nematoden bereits einen Tag früher mit der Lebendfütterung von Shrimp-Larven begonnen werden kann. Dies wirkt sich nach Erkenntnissen des F&E-Projektes in Form eines schnelleren Längenwachstums der Shrimp-Larven aus. Zum Einfluss dieses Vorteils auf weitere Prozessparameter wie der Sterblichkeit von Shrimp-Larven oder des durchschnittlichen Gewichts lagen zum Zeitpunkt der hier vorliegenden Untersuchung noch keine Daten vor. Die Verifizierung und Quantifizierung der größeren Gewichtszunahme von Shrimp-Larven durch deren Fütterung mit angereicherten Nematoden sollte daher zentrales Ziel künftiger Untersuchungen sein, da ein schnelleres Wachstum der Shrimp-Larven sich über einen deutlichen Effizienzgewinn im dominierenden Prozess der Shrimp-Larvenzucht auch positiv auf den Gesamtvergleich auswirken würde.

Eine weitere Steigerung der Fischmehlproduktion durch Ertragssteigerungen der marinen Fangfischerei ist ohne die Inkaufnahme erheblicher ökologischer Risiken wie der Gefährdung natürlicher Bestände nicht denkbar. Vor dem Hintergrund des erforderlichen Schutzes natürlicher Ressourcen in den Weltmeeren kann die Erschließung hochwertiger Ersatzprodukte aus alternativen Quellen als dringliche Aufgabe der Futtermittelforschung angesehen werden. Die weitere Optimierung der Produktion angereicherter Nematoden, etwa in Form einer Weiterentwicklung der Prozesstechnik, kann vor diesem Hintergrund einen wichtigen Beitrag leisten.

## 5. Diskussion übergeordneter Erkenntnisse aus der Bewertung der einzelnen F&E-Projekte

Auf der Basis der Einzelergebnisse aus den vergleichenden Nachhaltigkeitsbewertungen der F&E-Projekte werden im Folgenden übergeordnete Erkenntnisse aus diesem Projekt abgeleitet und daraus resultierende Rückschlüsse diskutiert. Konkret handelt es sich dabei um Schlussfolgerungen über die verwendete methodische Vorgehensweise und die Zusammenarbeit mit den Verantwortlichen der betrachteten F&E-Projekte (vgl. Kapitel 5.1), eine Einordnung der erhaltenen Ergebnisse (Kapitel 5.2) sowie Ansatzpunkte für die geeignete Veröffentlichung der Ergebnisse und Erkenntnisse (Kapitel 5.3). Abschließend folgt ein Schlussfazit sowie ein Ausblick (Kapitel 5.4).

### 5.1. Methodische Schlussfolgerungen

Das übergeordnete Ziel der vorliegenden Studie bestand darin, die im Rahmen der Förderinitiative Aquakultur geförderten F&E-Projekte einer prozessbegleitenden Nachhaltigkeitsbewertung zu unterziehen. Nach erfolgter Dokumentation und Validierung der Ergebnisse der vorgenommenen Analysen kann festgehalten werden, dass dieses Ziel für die meisten der betrachteten F&E-Projekte erreicht wurde.

Konkret konnten für acht der insgesamt zehn im Rahmen der DBU-Förderinitiative „Nachhaltige Aquakultur“ geförderten Projekte vergleichende Nachhaltigkeitsbewertungen durchgeführt werden. Lediglich für zwei F&E-Projekte, nämlich das „Algenbiomasse“- und das „Felchen“-Projekt war dies aufgrund der zur Verfügung stehenden Datenbasis<sup>3</sup> nicht möglich. Bei diesen beiden Projekten wäre es jedoch auch nicht sinnvoll gewesen, eine Bewertung auf einer mittels Annahmen vervollständigten Datenbasis vorzunehmen, da der Umfang der erforderlichen Annahmen und die damit verbundene Unsicherheit zu groß gewesen wären. Die übrigen F&E-Projekte konnten entsprechend der in Kapitel 3 beschriebenen methodischen Vorgehensweise in einer lebenswegorientierten Perspektive analysiert werden. Im Rahmen eines Vergleichs wurde herausgearbeitet, wie die Neuentwicklung im Vergleich zu der jeweils gegenwärtig vorherrschenden Referenztechnologie abschneidet. Die dabei durchgeführten ökobilanziellen Analysen, die z.T. um ökonomische Aspekte und Gesichtspunkte des Tierschutzes ergänzt wurden, haben sich in diesem Zusammenhang als ein gleichermaßen zielführender und praktikabler Ansatz erwiesen. Dieser Ansatz war auch geeignet, um insbesondere auf der Grundlage der durchgeführten Beitrags- und Sensitivitäts- und Signifikanzanalysen relevante Optimierungspotenziale für die Neuentwicklungen zu identifizieren. Die in diesem Zusammenhang erhaltenen Erkenntnisse und Ansatzpunkte wurden mit den Verantwortlichen der einzelnen F&E-Projekte rückgekoppelt, woraus sich eine grundsätzlich positive Rückmeldung bezüglich der Sinnhaftigkeit und Praxistauglichkeit der unterbreiteten Optimierungsvorschläge ergab. In diesem Zusammenhang wurde auch die Validität der verwendeten Datenbasis sowie die Nachvollziehbarkeit und Transparenz der durchgeführten Berechnungen in allen Fällen bestätigt.

Ganz besonders wertgeschätzt wurden die Einschätzungen des Öko-Instituts zu den verschiedenen prozesstechnischen Optionen zur Konservierung von Schlachtabfällen, die im F&E-Projekt „Fischnebenprodukte“ betrachtet wurden. Hier wurde eine Empfehlung für die chemische Silierung ausgesprochen, die aus Nachhaltigkeitsgesichtspunkten einer biologischen Silierung sowie einer Konservierung der betrachteten Fischnebenprodukte mittels Tiefkühlagerung vorzuziehen ist. Dies bildete für das F&E-Projekt eine wichtige entwicklungsbezogene „Weichenstellung“ und hatte

---

<sup>3</sup> Für eine genauere Begründung, warum eine Bewertung aufgrund der verfügbaren Datenbasis nicht möglich war, wird auf die Kapitel 4.5 bzw. 4.7 verwiesen.

direkten Einfluss auf die folgenden Arbeiten im Projekt. Vor diesem Hintergrund hätte der Nutzen der durchgeführten vergleichenden Nachhaltigkeitsbewertungen für die durchgeführten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in den übrigen bewerteten Projekten weiter gesteigert werden können, wenn in größerem Umfang solche Analysen zu konkreten „Weichenstellungen“ durchgeführt worden wären. Obwohl angeboten, wurde dies von den Verantwortlichen in den F&E-Projekten in der Regel nicht gewünscht. Dies kann zum einen daran liegen, dass der Ablauf der F&E-Arbeiten von vorne herein weitgehend festgelegt war. Zum anderen war jedoch auch bei der Ansprache der Verantwortlichen in den F&E-Projekten z.T. spürbar, dass gewisse Vorbehalte gegenüber der Nachhaltigkeitsbewertung der geleisteten Arbeiten durch eine dritte, unabhängige Partei wie das Öko-Institut bestanden und zunächst abgebaut werden mussten. Darüber hinaus ist die für solche zusätzliche Betrachtungen erforderliche Datenerfassung üblicherweise mit einem entsprechenden Arbeitsaufwand verbunden. In diesen Umständen sind vermutlich auch die Gründe zu suchen, warum der Mehrwert einer stärker prozessbegleitenden Nachhaltigkeitsbewertung nicht erkannt bzw. nicht optimal genutzt werden konnte. Zugespielt wurde die Sinnhaftigkeit des Bewertungsprojekts in vielen Fällen erst zu dem Zeitpunkt wahrgenommen, als die Ergebnisse der jeweiligen Untersuchung, insbesondere auch hinsichtlich der Optimierungspotenziale, bereits vorlagen.

Als eine wesentliche Schwierigkeit bei der Durchführung der vergleichenden Nachhaltigkeitsanalysen stellten sich die Verzögerungen heraus, die im Zeitplan der meisten betrachteten F&E-Projekte im Vergleich zu der ursprünglichen Planung aufgetreten sind. Solche Verzögerungen sind bei Forschungs- und Entwicklungsarbeiten mit anspruchsvollen Zielsetzungen nichts Außergewöhnliches, haben jedoch beim Öko-Institut zusätzliche Abstimmungsprozesse mit den Projektverantwortlichen in Hinblick auf die erforderliche Anpassung des Zeitplans nötig gemacht. Dieser Aspekt sowie unerwarteter Zusatzaufwand bei der Begleitung der F&E-Projekte in Hinblick auf die für die Nachhaltigkeitsbewertung erforderlichen Daten haben schließlich dazu geführt, dass eine zweimalige Verlängerung der Laufzeit des Bewertungsprojektes erforderlich wurde.

Aus methodischer Sicht besonders anspruchsvoll erwies sich weiterhin der Vergleich der Neuentwicklungen mit der jeweiligen Referenztechnologie, insbesondere bezüglich des jeweils zu Grunde gelegten Technologie-Reifegrades. So waren für die meisten Neuentwicklungen nur Daten aus Aquakultur-Anlagen im Labor- bzw. Technikumsmaßstab verfügbar, während bei den Referenztechnologien Daten aus z.T. über viele Jahre hinweg optimierten Prozessketten vorlagen. Diese Asymmetrie bezüglich der Datenverfügbarkeit birgt als systemimmanentes Risiko, die Neuentwicklungen in einem ‚unfairen‘ Vergleich den Referenztechnologien gegenüberzustellen. Diesem Risiko kann allerdings durch Annahmen begegnet werden, wie sich die zentralen Prozessparameter (z.B. in Hinblick auf Rohstoffverbrauch und Energiebedarf) bei einer Übertragung der betrachteten Prozesskette vom Labor- bzw. Technikumsmaßstab auf eine Produktionsanlage verändern würden. Dieser Ansatz, oftmals auch ‚Upscaling‘ bezeichnet, ist jedoch nur in begrenztem Umfang möglich, da hierfür Analogieschlüsse und eine fundierte Kenntnis aller relevanten Prozessabläufe erforderlich wären. Hinzu kommt, dass grundsätzlich auch eine Fortschreibung der Prozessparameter für Referenztechnologie erforderlich werden kann. Vor diesem Hintergrund sind die Möglichkeiten, aus einem Upscaling belastbare Annahmen abzuleiten, eher limitiert und die Übergänge zur Spekulation können fließend sein. Daher wurden im Rahmen der vorliegenden Studie vorzugsweise Szenarien betrachtet, die sich der Frage gewidmet haben, welche Veränderungen sich beim jeweiligen Ergebnisportfolio ergeben, wenn bestimmte zentrale Eingangsparameter verändert werden (so genannte Wenn-Dann-Szenarien). In eine ähnliche Richtung gehen Berechnungen, die sich mit der Frage beschäftigen, bei welchem Wert eines zentralen Eingangsparameters die Neuentwicklung und die Referenztechnologie bezüglich einer bestimmten Wirkungskategorie gleich abschneiden (so genannter ‚Break-Even‘-Punkt). Bei mehreren Vergleichen wurde im

Rahmen der vorliegenden Studie gemäß der oben beschriebenen Vorgehensweise verfahren. Beispiele hierfür sind:

- die mindestens erforderliche Steigerung der Überlebensrate beim Einsatz einer kombinierten Behandlung von Kreislaufwasser mit Ultraschall- und UV-Licht (F&E-Projekt „US/UV“);
- die Ermittlung der durch den Membran-Denitrifikations-Reaktor mindestens zu eliminierenden Menge an Nitrat-Stickstoff (F&E-Projekt „Entfernung Mikropartikelfracht“) sowie
- die Variation der angesetzten Futtermittelverwertungskoeffizienten bei dem Vergleich zwischen einer integrierten Produktion von Fischen und Halophyten einerseits und einer Aquakultur in Netzkäfigen andererseits (F&E-Projekt „Halophyten“).

Daraus konnten interessante Ergebnisse abgeleitet werden, die für die Weiterentwicklung bzw. Optimierung der Neuentwicklung, aber auch für zukünftige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten als Zielsetzung verwendet werden können.

## 5.2. Einordnung der Ergebnisse

In der folgenden Tabelle werden die wichtigsten Ergebnisse aus den in der vorliegenden Studie durchgeführten vergleichenden Nachhaltigkeitsanalysen zusammengestellt. Dabei wird zunächst auf den Vergleich zwischen Neuentwicklung und Referenztechnologie aus der Perspektive der durchgeführten ökobilanziellen Analysen eingegangen. Wo erforderlich, wird auf vorhandene Unterschiede bei den betrachteten Wirkungskategorien eingegangen. In Ergänzung dazu wird in einer separaten Spalte ein ggf. vorhandener Zusatznutzen der Neuentwicklung ausgewiesen, sofern dieser nicht im Rahmen der ökobilanziellen Analysen ausreichend berücksichtigt werden konnte. Dies ist üblicherweise dann der Fall, wenn dieser Zusatznutzen nicht durch Stoff- und Energieströme erfasst werden kann, die in den betrachteten Standard-Wirkungskategorien Berücksichtigung finden. Gleiches gilt für ökonomische Gesichtspunkte sowie Tierschutzaspekte. Schließlich enthält eine weitere Spalte Informationen zu den Optimierungspotenzialen, die bei einem Up-scaling der Neuentwicklung von dem vorliegenden Labor- bzw. Technikumsmaßstab auf eine Produktionsanlage erzielt werden können (vgl. hierzu auch Kapitel 5.1).

Die Auswertung dieser Übersicht führt zu der Erkenntnis, dass eine isolierte Betrachtung nur auf der Grundlage der Ökobilanz-Standardwirkungskategorien zu einer verkürzten Sichtweise und möglicherweise zu Fehleinschätzungen bei der Bewertung der Nachhaltigkeitsaspekte der Neuentwicklung führen würde. Dies ist zum einen der Tatsache geschuldet, dass sich nicht alle Nutzenaspekte der Neuentwicklung in den Ökobilanz-Standardwirkungskategorien ausdrücken lassen, zum anderen wird auf die in Kapitel 5.1 diskutierte Asymmetrie bei den verfügbaren Daten und die daraus resultierenden Limitierungen hinsichtlich der Vergleichbarkeit zwischen Neuentwicklung und Referenztechnologie hingewiesen. Daraus ergibt sich aber auch, dass ein abschließender Vergleich zwischen den beiden Vergleichsobjekten nicht objektiv nach einem verallgemeinerbaren Algorithmus auf Basis der in Tabelle 1 dargestellten Einzelinformationen getroffen werden kann, sondern nur auf individueller Ebene. In diesem Zusammenhang spielen die Gewichtungen, die jeder Leser / jede Leserin den einzelnen Einzelinformationen beimessen, eine wichtige Rolle. Eine transparente und nachvollziehbare Grundlage hierfür ist mit der Gegenüberstellung der Ergebnisbestandteile jedenfalls geschaffen.

**Tabelle 1 Ergebnisse aus der vergleichenden Nachhaltigkeitsbewertung zwischen Neuentwicklung und Referenztechnologie**

Projekt (Kurzbezeichnung)	Ergebnisse der öko-bilanziellen Analyse	Zusatznutzen (durch ökobilanzielle Betrachtung nicht abbildbar)	Optimierungspotenziale beim ‚Upscaling‘ der Neuentwicklung
EVA	o	Kosten des Strombedarfs des EVA-Aggregats um Faktor 7 unter den Kosten für flüssigen Sauerstoff (für Ozonierung)	Stromeinsparung beim Einsatz energieeffizienter Netzteile und falls das EVA-Aggregat einer Proteinabschäumung vorgeschaltet werden kann
US/UV	--	Möglicherweise geringere Sterblichkeit und besseres Wachstum der Besatzfische	kombinierter UV/US-Betrieb nur bei entsprechendem Erregerdruck; zeitlich begrenzte Vermietung bzw. Leasing- oder Sharing-Konzepte
Verringerung Mikropartikel	- (KEA, GWP, AP, POCP) o (EP)	Senkung des Stresspegels der Besatzfische; positive Auswirkung auf die Mikroflora im Haltungssystem	Verwendung effizienterer Pumpentechnik; optimale Auslegung des Reaktors auf die zu erwartenden Stickstofffrachten
Algen-biomasse	keine Bewertung vorgenommen		
Halophyten	++ (EP) o (AP, POCP) -- (GWP)	Schließung von Stoffkreisläufen und Reduzierung des Verbrauchs knapper Ressourcen (N, P); keine Flucht aus Netzkäfigen	Bereitstellung des benötigten elektrischen Stroms aus erneuerbaren Quellen
Hormonfreie Tilapia-produktion	o	Hormonfreiheit der Zucht und dadurch Vermeidung des Eintrags endokrin wirksamer Substanzen ins Ökosystem	Effizienzsteigerungen bei der Beckenheizung; Beheizung des Fischhaltebeckens durch Solarthermie
Felchen	keine Bewertung vorgenommen		
Fischneben-produkte	++ (POCP) + (AP, EP) o (KEA, GWP)	Substitution von Fischmehl und -öl aus Wildfang und dadurch Schonung der maritimen Ressourcen; Wirtschaftlichkeit des Verfahrens, insbesondere auch bei kleineren Betrieben	Reduktion des Fischmehlanteils bei der Futterbereitstellung
Pavlova	--	Erschließung hochwertiger Substitute für Fischmehl und Fischöl	Steigerung der Überlebensraten bei der Fischlarvenaufzucht
FeeDH-A-Shrimp	+ (KEA, GWP, AP, POCP) o (EP)	früherer Beginn der Lebendfütterung der Shrimp-Larven und dadurch möglicherweise schnelleres Wachstum	Steigerung der Energieeffizienz des Prozesses (Betrieb der Pumpen, Beheizung des Wassers)

**Legende:**

++ erheblicher Vorteil (über 50% besser), + geringer Vorteil (bis zu 50% besser), o kein signifikanter Unterschied, - geringer Nachteil (bis zu 50% schlechter), -- erheblicher Nachteil (über 50% schlechter)



Nach Einschätzung des Öko-Instituts können unter Berücksichtigung der Gesamtschau der zur Verfügung stehenden Informationen alle betrachteten F&E-Projekte als sinnvolle Ansatzpunkte für eine nachhaltige Gestaltung der Aquakultur betrachtet werden, wenngleich in einigen Projekten aus Nachhaltigkeitsgesichtspunkten effektivere und / oder effizientere Prozessabläufe möglich erscheinen.

In diesem Zusammenhang wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass ein Vergleich der Projekte untereinander, z.B. im Sinne eines Benchmarkings, nicht möglich ist. Dies ist v.a. auf die unterschiedlich definierten Systemgrenzen und die projektbedingt z.T. erheblichen Unterschiede bei den verwendeten Datengrundlagen zurückzuführen. Ein direkter Vergleich würde daher mit großer Wahrscheinlichkeit zu fehlerhaften Rückschlüssen führen.

### **5.3. Veröffentlichung der Ergebnisse und Erkenntnisse**

Im Anhang zu diesem Abschlussberichts befindet sich in einem separaten Dokument eine ca. 20 Seiten umfassende Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse und Erkenntnisse des Bewertungsprojekts. Diese Kurzfassung des vorliegenden Endberichts ist auch bereits Bestandteil der Veröffentlichungsstrategie; sie soll zum einen dazu dienen, einen Überblick über die wichtigsten Ergebnisse und Schlussfolgerungen dieses Bewertungsprojekts zu vermitteln, kann zum anderen aber auch für die Kommunikation der Ergebnisse gegenüber Dritten verwendet werden.

In Ergänzung zu diesem Dokument plant das Öko-Institut für 2015 eine wissenschaftliche Veröffentlichung, die sich voraussichtlich den übergeordneten methodischen Erkenntnissen widmen wird (vgl. Kapitel 5.1). In diesem Zusammenhang wird angestrebt, auch Verantwortliche der F&E-Projekte als Co-Autoren zu gewinnen. Dier Bereitschaft hierzu wurde von einzelnen Personen bereits signalisiert.

Schließlich ist für 2015 auch ein Beitrag in „eco@work“, dem E-Paper des Öko-Instituts, vorgesehen.

Bei allen geplanten Veröffentlichungen wird die DBU einbezogen und auf Wunsch eine Abstimmung der erstellten Textentwürfe im Detail vorgenommen.

### **5.4. Schlussfazit und Ausblick**

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sich die bei der vorliegenden Studie gewählte Vorgehensweise bewährt hat. Im Rahmen der vergleichenden Nachhaltigkeitsbewertungen konnten für die verschiedenen Entwicklungspfade der bewerteten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten transparente Bewertungen unter ökobilanziellen Gesichtspunkten durchgeführt werden, die punktuell um ökonomische Analysen und die Kriterien des Tierschutzes ergänzt wurden. In diesem Zusammenhang möchten sich die Autorinnen und Autoren dieser Studie bei den Verantwortlichen der bewerteten F&E-Projekte sowie ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern für die konstruktive Zusammenarbeit und die Bereitstellung der benötigten Datenbasis bedanken. Die vom Öko-Institut im Rahmen dieses Bewertungsprojekts erarbeiteten Anregungen und Empfehlungen zur weiteren Optimierung der erzielten F&E-Ergebnisse können in diesem Sinne als Gegenleistung bzw. „Ertrag“ für die bei der Datenerfassung aufgebrauchte Mühewaltung verstanden werden. Ziel dabei war es, diese Anregungen und Empfehlungen so konkret und praxistauglich wie möglich zu formulieren; die weitgehend positiven Rückmeldungen seitens der Verantwortlichen der F&E-Projekte lassen darauf schließen, dass dieses Ziel größtenteils erreicht werden konnte.

Vor diesem Hintergrund sollte bei ähnlich gelagerten Studien zukünftig darauf geachtet werden, die Vorzüge und „Erträge“ einer unabhängigen Bewertung bereits zu Projektbeginn noch stärker herauszuarbeiten und gegenüber den Verantwortlichen der zu bewertenden Projekten zu kommunizieren. Dadurch könnte die Bereitschaft zur Zusammenarbeit weiter gesteigert werden. Darüber hinaus sollte angestrebt werden, durch eine noch stärker entwicklungsbegleitende Ausrichtung der Bewertung Analysen und Empfehlungen in größerem Umfang direkt zu denjenigen Zeitpunkten vorzusehen, bei denen Entscheidungen zu zentralen entwicklungsbezogenen „Weichenstellungen“ (vgl. hierzu auch Kapitel 5.1) getroffen werden. Erfahrungsgemäß bestehen bei solchen Meilensteinen im Entwicklungsprozess besonders gute Möglichkeiten, die vorhandenen Nachhaltigkeitspotenziale einer Neuentwicklung auszuschöpfen und aktiv zu gestalten.

Aus Nachhaltigkeitsgesichtspunkten wird es angesichts der prognostizierten Wachstumsperspektive im Aquakultur-Sektor (vgl. Kapitel 1) grundsätzlich darauf ankommen, die Energie- und Ressourcenproduktivität von Aquakulturen deutlich zu steigern, Futtermittelquellen jenseits von Fischmehl und -öl aus der Wildfischerei zu erschließen und darüber hinaus auch die Schadstoffeinträge in Gewässer zu minimieren.

Wie das vorliegende Bewertungsprojekt gezeigt hat, bestehen hierfür in Europa und v.a. in Deutschland umfangreiche Kompetenzen und F&E-Aktivitäten, die u.a. auf die Optimierung einer energie- und ressourcenschonenden Kreislauftechnologie, optimierte Futtermittelkonzepte sowie Ansätze zur integrierten Produktion (Schließen von Nährstoffkreisläufen bei der Produktion hochwertiger Eiweiße) ausgerichtet sind. Es wird daher darauf ankommen, diese Kompetenzen und Lösungsansätze zu stärken und dabei auf eine noch stärkere Ausrichtung der zukünftigen F&E-Aktivitäten in Hinblick auf Nachhaltigkeitsgesichtspunkte Wert zu legen.