

Politik für eine Nachhaltige Aquakultur 2050

Empfehlungen aus der Zielperspektive

Freiburg, 05.11.2018

Ein Eigenmittelprojekt des Öko-Instituts

Autor

Florian Antony
Öko-Institut e.V.

Unter Mitarbeit von

Martin Möller
Jenny Teufel
Christian Winger
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
www.oeko.de

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	5
Zusammenfassung	7
1. Hintergrund	10
2. Zielstellung, methodischer Ansatz und Untersuchungsrahmen	13
2.1. Zielstellung	13
2.2. Methodischer Ansatz	13
2.3. Untersuchungsrahmen	14
2.4. Aufbau des Projekts und des vorliegenden Projektberichts	15
3. Arbeitspaket 1: Konkretisierung des Zielzustandes „Nachhaltige Aquakultur 2050“	15
3.1. Fischkonsum in Deutschland	16
3.2. Strukturierung der deutschen Aquakultur	19
3.2.1. Heutige und zukünftige Relevanz der verschiedenen Teilsektoren	21
3.2.2. Einschätzung zum Status Quo der Aquakulturproduktion in Deutschland	22
3.3. Definition des wünschenswerten Zielzustands in 2050	24
4. Arbeitspaket 2: Szenarien künftiger Entwicklung	29
4.1. Nachhaltige Bereitstellung von Futtermitteln	29
4.2. Kreislaufanlagen (inkl. integrierte Aquaponik-Anlagen)	31
4.2.1. Technologischer Überblick	32
4.2.2. Handhabung von Problemen, die aus der Umwelt ins System eingetragen werden	33
4.2.3. Handhabung technischer und tierschutzrelevanter Prozessparameter innerhalb der Anlage	33
4.2.4. Kontrolle von Problemen, die aus dem System in die Umwelt ausgetragen werden	34
4.2.5. Ableitung des prioritären Forschungs- und Entwicklungsbedarfs	35
4.3. Entwicklung bei Teich- und Durchflusssaquakulturen	36
4.4. Netzkäfige	37
4.5. Aufbau eines Stoffstrommodells zur zukünftigen Entwicklung der Aquakultur in Deutschland	37
4.5.1. Modellentwicklung und Funktionalitäten	38
5. Interpretation der Ergebnisse und Erkenntnisse des Projektes	41

6.	Arbeitspaket 3: Ableitung von Handlungsempfehlungen für die Politik	48
6.1.	Wissenschaftliche Datengrundlagen konsolidieren	49
6.1.1.	Empfehlung 1: Die nachhaltige Bereitstellung von Futtermitteln für die Aquakultur weiter erforschen	49
6.1.2.	Empfehlung 2: Die standardisierte Bewertung von technologischen und managementspezifischen Ansätzen für den Bereich Aquakultur entwickeln	49
6.1.3.	Empfehlung 3: Die Interaktion von Aquakultur-Anlagen mit der Umwelt vertieft erforschen	50
6.2.	Sonderordnungsrecht und Umweltschutzrecht	51
6.2.1.	Empfehlung 4: Vereinheitlichung und gegebenenfalls Vereinfachung des Genehmigungsverfahrens für die Ansiedelung von Kreislaufanlagen	51
6.2.2.	Empfehlung 5: Ausbildung an künftige Anforderungen anpassen	51
6.2.3.	Empfehlung 6: Weiterentwicklung der derzeitigen Erfassung der Produktion von Fischen und Fischerzeugnissen in amtlichen Statistiken	51
6.3.	Flankierende freiwillige Instrumente, Forschungsschwerpunkte und öffentliche Dialoge	52
6.3.1.	Empfehlung 7: Umweltmonitoring der Aquakultur implementieren	52
6.3.2.	Empfehlung 8: Anwendung freiwilliger Instrumente zur integrierten Betrachtung von Chancen und Risiken der Aquakultur in Deutschland fördern und weiterentwickeln.	52
6.3.3.	Empfehlung 9: Bündelung des Wissens und Koordination des Wissenszuwachses im Bereich der Aquakultur in Deutschland vorantreiben.	53
	Literaturverzeichnis	54

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1:	Eigenversorgungsquote für Fisch und Fischprodukte (EU-28) in 2012	19
Abbildung 3-2:	Erzeugte Menge Fisch in deutscher Aquakultur nach Anlagenarten	20
Abbildung 3-3:	Anzahl der Betriebe mit Erzeugung von Fisch in Aquakultur nach Anlagenarten	21
Abbildung 4-1:	Ansicht des Hauptfensters zur Simulation künftiger Aquakulturentwicklung in Deutschland	40
Abbildung 5-1:	Beiträge zum Treibhausgaspotenzial der deutschen Aquakulturproduktion im Jahr 2015	42
Abbildung 5-2:	Simulation der Entwicklung des Produktionsvolumens deutscher Aquakulturbetriebe (nur Fische)	43
Abbildung 5-3:	Beiträge zum Treibhausgaspotenzial der deutschen Aquakulturproduktion im Jahr 2050	44
Abbildung 5-4:	Entwicklung der Zahl der Anlagen im Zeitraum von 2015 bis 2050	45

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1:	Rangfolge der bedeutendsten See- und Süßwasserfische in Prozent	16
Tabelle 3-2:	Konsum der wichtigsten Fischarten in der EU (EU-28) (2012)	17
Tabelle 4-1:	Unterscheidung von KLA-Typen nach Produktionskapazität	39

Zusammenfassung

Im Rahmen eines Eigenprojekts des Öko-Instituts („Politik für eine Nachhaltige Aquakultur 2050. Empfehlungen aus der Zielperspektive“) wurde untersucht, wie nachhaltige Aquakultur in Deutschland im Jahre 2050 konkret aussehen soll. Darauf aufbauend wurde analysiert, welche notwendigen Rahmenbedingungen geschaffen und welche konkreten Entwicklungen vorangetrieben werden müssen, um diesen gewünschten Zielzustand zu erreichen. Basierend auf der Auswertung vorliegender Informationen und vorhandener (politik-)strategischer Ansätze, sowie auf Basis der Erkenntnisse des Projekts wurden Vorschläge für konkrete Politikempfehlungen an das zuständige Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) abgeleitet.

Konkretisierung des Zielzustandes

Im Rahmen des Projekts wurde zunächst konkretisiert, wie nachhaltige Aquakultur in Deutschland im Jahr 2050 aussehen kann. Fisch und Fischprodukte können zu einer ausgewogenen und gesunden Ernährung beitragen. Für wirtschaftlich und industriell entwickelte Länder wie Deutschland gilt jedoch, dass die Ernährung bereits zu hohe Anteile an Fleisch und tierischen Produkten enthält. Eine absolute Reduktion des Anteils an Tierprodukten (v.a. rotes Fleisch) in der Ernährung von Industrieländern ist daher mittel- bis langfristig notwendig. Bezogen auf Fisch und Fischprodukte kann festgehalten werden, dass in Deutschland auch ein deutlich geringerer Fischkonsum zur Sicherstellung einer hochwertigen Nahrungsmittelversorgung ausreicht. Basierend auf den Empfehlungen der deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) wird daher eine Reduktion des Fischkonsums in Deutschland von derzeit etwa 14 kg auf 10 kg pro Kopf und Jahr vorgeschlagen. Diese sollte möglichst rasch, auf jeden Fall jedoch deutlich vor 2050 realisiert werden.

In Deutschland werden vor allem Seefische verzehrt, die zu einem großen Teil aus der marinen Fangfischerei stammen. Hier ist es wünschenswert, dass zukünftig weniger importierter Seefisch, bei gleichzeitig erhöhtem Anteil an Fisch aus heimischer (Binnen-)Aquakultur verzehrt wird. Als Ziel wurde eine signifikante Erhöhung der aktuell noch sehr niedrigen Eigenversorgungsquote festgelegt, die vorrangig durch den Ausbau der heimischen Aquakultur und hier insbesondere durch den Zubau sogenannter Kreislaufanlagen realisiert werden müsste. Gleichzeitig sollte der Erhalt der bisherigen heimischen Aquakulturproduktion, die im Wesentlichen auf Fischzucht in Teichen und Durchflussanlagen beruht, gesichert werden und langfristig mindestens dem Niveau von 2015 entsprechen.

Szenarien künftiger Entwicklung:

In einem zweiten Arbeitsschritt wurden wesentliche Aspekte der Entwicklung plausibler Zukunftsszenarien untersucht. Hierbei wurde ein starker Fokus auf die in den Teilspektoren erforderlichen Prozesse, F&E-Aktivitäten und wichtige Rahmenbedingungen gelegt. Als wesentliche Schwerpunkte zukünftiger Arbeiten stellt sich neben sektorspezifischen Entwicklungsbedarfen (z.B. Erhalt von Teichwirtschaften, technische Optimierung von Kreislaufanlagen) insbesondere der Bereich Futtermittelbereitstellung als höchst relevant dar. So konnte gezeigt werden, dass das nötige Fischfutter der mit Abstand wichtigste Treiber der Umweltauswirkungen der Aquakultur ist. Nachhaltige Futtermittelbereitstellung, etwa durch Realisierung bislang nicht ausgeschöpfter Potenziale bei der Verwendung von Fischnebenprodukten sowie die Substitution von Fischmehl und Fischöl ist ein herausragendes Zukunftsthema und notwendige Bedingung für eine nachhaltige Entwicklung der Aquakultur.

Im Projekt konnte zudem verbleibender Forschungsbedarf (verbesserte Ökobilanz der Futtermittel, fischartenspezifische Prozessparameter von Kreislaufanlagen) identifiziert werden. Auf Basis der vorhandenen Informationen ist es aktuell nur orientierend möglich, plausible Zeitkorridore festzulegen bzw. konkrete Zeitpunkte zu benennen, wann bestimmte Entwicklungsschritte vollzogen sein müssen.

Wesentliches Ergebnis dieses Analyseschrittes ist die Erkenntnis, dass die zeitnahe systematische Erfassung der Umweltwirkungen der deutschen Aquakultur notwendig ist. Dieser Schritt ist wichtig, um darauf aufbauend konsistente Zukunftsszenarien entwickeln zu können. Im Projekt wurden hierzu bereits notwendige Vorbedingungen definiert.

Stoffstrommodell zur Abbildung der Umweltauswirkungen der Aquakultur

Zu den Umweltauswirkungen der Aquakultur besteht trotz erster Ansätze nach wie vor erheblicher Forschungsbedarf. Insbesondere in Hinblick auf einen Vergleich der deutschen Aquakultur mit der internationalen Aquakultur, oder aber mit der Bereitstellung tierischer Proteinquellen aus terrestrischer Landwirtschaft, der derzeit nur mit großen Unsicherheiten möglich ist. Die hohe Importabhängigkeit Deutschlands beim Fischkonsum spricht jedoch dafür, dass hier Umweltprobleme ins Ausland verlagert werden. Ein Ausbau der Binnenaquakultur würde dazu beitragen, dies zukünftig zu vermeiden.

Nicht zuletzt deshalb wurde im Rahmen des Projektes auch stärker als zunächst geplant die Entwicklung eines Simulations-Prototyps zur Modellierung von Zukunftsszenarien vorangetrieben, der perspektivisch auch ein systematisches Monitoring der Umweltauswirkungen der Aquakultur erlaubt. Hierzu müssten neben der schrittweisen Integration wichtiger Zielfischarten auch technologische Entwicklungen in den verschiedenen Sektoren der Aquakultur und die Weiterentwicklung von Futtermitteln aufgenommen werden. Ebenso könnten die Ergebnisse eines solchen Monitorings eine fundierte Basis für eine wissensbasierte Verbraucherberatung zu Produkten aus deutscher Aquakultur darstellen.

Politikempfehlungen für die nachhaltige Entwicklung der Aquakultur

Der abschließende Arbeitsschritt greift die grundsätzlichen Überlegungen aus den vorangegangenen Abschnitten auf und übersetzt diese in neun konkrete Empfehlungen für eine „Politikstrategie Nachhaltige Aquakultur 2050“. Adressaten sind dabei insbesondere Entscheidungsträger/innen in der Politik, darüber hinaus aber auch interessierte Akteure und Akteurinnen in Wissenschaft und Industrie. Bei den Empfehlungen wurde darauf geachtet, dass diese eine kurz- bis mittelfristige Perspektive haben, mit deren Umsetzung direkt begonnen werden könnte. Insgesamt werden Empfehlungen zu drei verschiedenen Handlungsbereichen (Wissenschaftliche Datengrundlagen konsolidieren; umweltbezogenes Ordnungsrecht; Forschungsschwerpunkte und öffentliche Dialoge (vgl. Abschnitt 6) gegeben:

- Die nachhaltige Bereitstellung von Futtermitteln für die Aquakultur weiter erforschen
- Die standardisierte Bewertung von technologischen und managementspezifischen Ansätzen für den Bereich Aquakultur entwickeln
- Die Interaktion von Aquakultur-Anlagen mit der Umwelt vertieft erforschen
- Vereinheitlichung und gegebenenfalls Vereinfachung des Genehmigungsverfahrens für die Ansiedelung von Kreislaufanlagen
- Ausbildung an künftige Anforderungen anpassen

- Weiterentwicklung der derzeitigen Erfassung der Produktion von Fischen und Fischerzeugnissen in amtlichen Statistiken
- Umweltmonitoring der Aquakultur implementieren
- Anwendung freiwilliger Instrumente zur integrierten Betrachtung von Chancen und Risiken der Aquakultur in Deutschland fördern und weiterentwickeln
- Bündelung des Wissens und Koordination des Wissenszuwachses im Bereich der Aquakultur in Deutschland vorantreiben

1. Hintergrund

Die weltweite Fischproduktion ist seit mehreren Jahrzehnten der mit Abstand am schnellsten wachsende Lebensmittelsektor (Diana 2013; FAO 2018, 2017, 2016). Vorliegende Prognosen gehen von einer stetig wachsenden Nachfrage nach Fisch und Fischprodukten aus (World Bank 2013; FAO 2018; OECD und FAO 2018). Für 2050 rechnen das World Resources Institute (WRI) bzw. die Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) damit, dass weltweit etwa 200 Mio. t Fisch pro Jahr konsumiert werden. Das bedeutet gegenüber 124 Mio. t in 2010 einen Zuwachs um mehr als 75 Mio. t pro Jahr (Waite et al. 2014). Neuere Prognosen rechnen bereits für das Jahr 2030 mit einem Fischkonsum von 200 Mio. t Fisch pro Jahr (FAO 2018). Da bereits seit einigen Jahren die Erträge aus der marinen Fangfischerei stagnieren, sind die bereits erfolgten Produktionszuwächse in den letzten 20 Jahren nahezu ausschließlich auf den Ausbau der Aquakultur (v.a. in Asien) zurückzuführen (FAO 2018). Damit ist eindeutig davon auszugehen, dass die Fischproduktion in Aquakultur zunehmend an Bedeutung gewinnt und dass aller Voraussicht nach auch künftige Zuwächse so gut wie vollständig aus der Aquakultur stammen werden.

Angesichts stagnierender bzw. in Zukunft voraussichtlich sogar sinkender Erträge 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, die steigende Nachfrage nach Fisch und Fischprodukten in Zukunft durch einen weiteren Ausbau der Aquakultur decken zu können (World Bank 2013; OECD 2015; Kobayashi et al. 2015; Mungkung et al. 2014). Die Wachstumsraten lagen in den zurückliegenden 20 Jahren bei 5-10% pro Jahr. Angesichts dieser sehr dynamischen Entwicklung wird die Aquakultur als einer der bedeutendsten Sektoren in Hinblick auf die langfristige Sicherstellung einer qualitativ hochwertigen Nahrungsmittelversorgung der Menschheit angesehen (FAO 2012a).

Als Folge des rasanten Wachstums in der Vergangenheit traten aber auch die negativen ökologischen und sozioökonomischen Auswirkungen dieser Wirtschaftsform zunehmend offen zu Tage. Hier zu nennen sind die Eutrophierung und Schadstoffbelastung (Antifoulingmittel, Antibiotika) von Gewässern, Biodiversitätsverluste (Eutrophierung, genetische Gefährdung von Wildfischbeständen durch entweichende Zuchtarten) sowie die Verschmutzung von Trinkwasserquellen und die Entnahme von Wasser in Gebieten mit hoher Wasserknappheit (Boyd und McNevin 2015). Zwar gibt es in der jüngeren Vergangenheit auch Anzeichen für Verbesserungen, es muss jedoch davon ausgegangen werden, dass auch weiterhin noch erhebliches Verbesserungspotenzial für die Aquakultur besteht.

Ein weiterer Kritikpunkt ist der wachsende Bedarf von Futtermitteln für die Aquakultur. Hier wird befürchtet, dass dies zu einem erhöhten Fangdruck auf Wildfische führt, welche für die Herstellung von Fischmehl und -öl als wesentliche Bestandteile der Futtermittel gefangen werden. Andererseits ist jedoch zu berücksichtigen, dass Aquakulturanlagen anders als die Wildfischerei keinen Beifang verursachen, was nicht zuletzt unter Tierschutzgesichtspunkten ein großes Problem darstellt (World Ocean Review 2013).

Die nachhaltige Entwicklung der Aquakultur stellt somit eine wesentliche gesellschaftliche Herausforderung des 21. Jahrhunderts dar, um die Ernährung einer weiter wachsenden Weltbevölkerung mit hochwertigen Eiweißen sicherzustellen, aber gleichzeitig negative Folgewirkungen für die Umwelt zu vermeiden. Die im Rahmen der Agenda 2030 gesetzten UN-Ziele für eine nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals, SDGs) adressieren diese Herausforderung, indem in mehreren Zielen und Teilzielen Bezug auf den Fischkonsum genommen wird (UN 2015).

- Ziel 2: Den Hunger beenden, Ernährungssicherheit und eine bessere Ernährung erreichen und eine nachhaltige Landwirtschaft fördern
- Ziel 12: Nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster sicherstellen
- Ziel 14: Ozeane, Meere und Meeresressourcen im Sinne nachhaltiger Entwicklung erhalten und nachhaltig nutzen.

Während die globale Aquakulturproduktion in den letzten Jahren stark angestiegen ist, zeigt sich für die deutsche und mit Ausnahme Norwegens auch für die europäische Aquakultur eine relativ konstante Produktion, auf zumindest in Deutschland niedrigem Niveau (Eurostat 2016). Die Bedeutung der Aquakultur in Deutschland ist insgesamt eher gering einzuschätzen, erwirtschaftet die Aquakultur doch nur etwa 1% der Gesamterträge aus Land-, Forst und Fischereiwirtschaft. Zur einer ähnlichen Einschätzung der begrenzten volkswirtschaftlichen Bedeutung der deutschen Aquakultur kommen auch die Autoren der Studie zu den Perspektiven der Deutschen Aquakultur im internationalen Wettbewerb (BLE 2017). Gleichzeitig werden in Deutschland jährlich etwa 14kg Fisch und Fischprodukte pro Einwohner konsumiert (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2017). Im Vergleich zu anderen europäischen Staaten ist dies ein eher unterdurchschnittlicher Wert. Trotzdem ist die heimische Produktion weit davon entfernt, diesen Bedarf decken zu können und entsprechend hoch sind die Anteile an Fischen und Fischereiprodukten, die importiert werden. Der deutsche Fischkonsum ist damit also stark abhängig von Importen und die Importabhängigkeit liegt für Fisch und Fischereiprodukte deutlich höher als für andere tierische Erzeugnisse, bei denen teilweise sogar Exportüberschüsse erwirtschaftet werden. Letztlich geht damit aber auch eine Verlagerung von Umweltbelastungen in die Länder einher, die Fisch nach Deutschland liefern¹. Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass aufgrund der naturräumlichen Gegebenheiten zumindest die Nachfrage für bestimmte Süßwasserfischarten durch Eigenproduktion in Binnenaquakultur gedeckt werden könnte (Sähn et al. 2017; BLE 2017). Ebenso ist aber auch festzuhalten, dass dies nicht in derselben Weise für die Nachfrage nach beliebten Seefischarten (v.a. Lachs) gilt.

In der jüngeren Vergangenheit hat es auf europäischer und nationaler Ebene bereits zwei Prozesse zur Ausbildung von Strategien zur weiteren Entwicklung der Aquakultur in Deutschland gegeben. Während sich der „Nationale Strategieplan Aquakultur für Deutschland“ - (NASTAQ) (BMEL 2014) auf die Umsetzung von auf EU-Ebene verabschiedeten Wachstumszielen fokussiert, hat die „Deutsche Agrarforschungsallianz“ (DAFA), ein Gemeinschaftsprojekt der deutschen Agrarforschung, eine eigene Strategie mit teilweise von den Vorgaben des Nationalen Strategieplan Aquakultur abweichenden bzw. sich ergänzenden Empfehlungen entwickelt (Deutsche Agrarforschungsallianz (DAFA) 2014). Im Ergebnis existieren somit zwei unterschiedliche strategische Ansätze für die weitere Entwicklung der Aquakultur in Deutschland. Der NASTAQ setzt z.B. auf eine Beibehaltung der Produktion in Teichanlagen auf dem heutigen Stand. Die EU-seitig gewünschten und von Deutschland entwickelten Wachstumsziele sollen demnach durch einen Ausbau der Durchflussequakultur und neu zu errichtenden Kreislaufanlagen erreicht werden. Demgegenüber richtet die DAFA-Strategie ihren Fokus verstärkt auf die notwendige Entwicklung im Bereich der Aquakulturforschung, als wesentlichen Impulsgeber für die Weiterentwicklung der Aquakultur in Deutschland als Ganzes. Dabei benennt die DAFA-Strategie als eine Kernempfehlung auch explizit den Bedarf nach einer systematischen Betrachtung und Evaluation von Nachhaltigkeitsaspekten in der Aquakultur. Auch die mit diesem Bericht vorgelegte Politikstrategie für die Aquakultur in

¹ Zur Vermeidung etwaiger Missverständnisse sei hier klar festgehalten, dass sie dies auf die Verlagerung der Umweltlasten des inländischen Konsums in die jeweiligen Produktionsländer bezieht. Dies bedeutet aber explizit nicht, dass die Aquakultur in Deutschland der Produktion im Ausland unter Umweltgesichtspunkten in jedem Fall überlegen ist. Hierzu sollten aus Sicht der Autoren und auf Basis der zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur begrenzt verfügbaren Informationen keine allgemeingültigen oder generalisierenden Aussagen getroffen werden.

Deutschland verschreibt sich dem Grundgedanken, dass die systematische Evaluation von nachhaltigkeitsrelevanten Aspekten eine notwendige Bedingung jeglicher Form des Ausbaus der Aquakultur sein muss.

In den letzten Jahren hat das Öko-Institut auf der Grundlage der Evaluation von Ergebnissen aus Forschungsprojekten zum Ausbau des Wissens zur nachhaltigen Bereitstellung von Futtermitteln und zur Fischproduktion in Kreislaufanlagen beigetragen. Dabei wurde unter anderem auch festgestellt, dass nach wie vor Markteintrittsbarrieren bestehen, zu deren Überwindung eine konsistente Entwicklungsstrategie weitgehend fehlt. Die DAFA adressiert ebenfalls das Mengenproblem und fordert eine integrierte Nachhaltigkeitsbewertung der Weiterentwicklung, bezieht sich aber eher auf den nationalen Rahmen. In der DAFA-Strategie wird zwar gefordert zu prüfen, ob Importe von Fisch und Fischprodukten grundsätzlich aus Umweltsicht schlechter einzustufen sind, jedoch kommt der Frage nach der zukünftigen Bedeutung von importiertem Fisch aus Aquakultur in der auf die deutsche Aquakulturforschung ausgerichtete DAFA-Strategie naturgemäß eher eine nachrangige Bedeutung zu. Zugleich ist aber davon auszugehen, dass Deutschland (und Europa) auch künftig in großem Umfang Fisch aus Aquakultur auch aus Schwellen- und Entwicklungsländern importieren werden. Eine nationale Politikstrategie für eine nachhaltige Aquakultur muss daher auch diesen Aspekt mit berücksichtigen. Von besonderem Interesse ist dabei der Technologietransfer im Bereich technologischer Entwicklungen in der Teich- und Durchflusssquakultur und im Bereich der Kreislauftechnologie in Schwellen- und Entwicklungsländern.

Forschungs- und Entwicklungsthemen mit Bezug zur Aquakultur werden in Deutschland von einer Reihe von Akteuren und Akteurinnen mit jeweils unterschiedlicher Schwerpunktsetzung bearbeitet. Neben den Erzeugern von Aquakultur-Produkten² können Akteure im Bereich der Aquakulturpolitik und universitäre bzw. außeruniversitäre Forschungseinrichtungen unterschieden werden. Die Zuständigkeit für Themen der Aquakultur liegt auf nationaler Ebene bei den Bundesministerien (BMEL für Ernährung und Landwirtschaft und BMZ für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung), wobei diese Zuständigkeit inhaltlich zumindest für das BMEL weitgehend von Bundesforschungsanstalten wahrgenommen wird. Hier ist vor allem das am Johann-Heinrich-von-Thünen-Institut angesiedelte Institut für Fischereiökologie zu nennen. Eine weitgehend vollständige Auflistung der Forschungseinrichtungen in Deutschland mit Bezug zur Aquakultur kann der Anlage zum Nationalen Strategieplan Aquakultur (NASTAQ) entnommen werden³. Festzustellen ist, dass sich der Fokus eines Großteils der Forschungseinrichtungen auf die technologische Forschung und Entwicklung bzw. die Ausbildung wissenschaftlichen Nachwuchses konzentriert. Demgegenüber steht die Auseinandersetzung mit den nachhaltigkeitsrelevanten Aspekten der Aquakultur bei diesen Einrichtungen eher nicht oder zumindest nicht explizit im Fokus.

Eine explizite Auseinandersetzung mit nachhaltigkeitsrelevanten Themen findet sich hingegen bei Umweltorganisationen wie etwa dem WWF, Greenpeace, sowie bei verschiedenen Anbauverbänden (wie beispielsweise Naturland) und dem Aquaculture Stewardship Council (ASC). Diese Organisationen begleiten die Entwicklung der Aquakultur konstruktiv kritisch.

² Eine Auflistung aller Aquakultur-Betriebe in Deutschland kann den Informationen des Statistischen Bundesamtes entnommen werden. Dieses veröffentlicht jährlich Statistiken zur Zahl der Betriebe, der jeweiligen Produktionstechnologie und den erzeugten Mengen. Weitere Informationen sind online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/Fischerei/Aktuell.html>, zuletzt abgerufen am 27.05.2016.

³ Die als Anlage 1 hinterlegte Liste umfasst Institute, die sich aktuell oder in der jüngeren Vergangenheit mit Aquakultur-Themen auseinandergesetzt haben. Die Auflistung, die auch die im Rahmen der DBU-Förderinitiative nachhaltige Aquakultur geförderten Institutionen enthält, ist online verfügbar unter: http://www.portal-fischerei.de/fileadmin/redaktion/dokumente/fischerei/Bund/Nationaler_Strategieplan_Aquakultur_Deutschland.pdf, S. 87f., zuletzt abgerufen am 27.05.2016.

In der amtlichen Statistik wird die Erzeugung von Fisch in Aquakulturbetrieben nach Fischarten, Produktionstechniken und Produktionsmengen bereits seit geraumer Zeit erfasst (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2017). Somit liegen zumindest bedingt Informationen dazu vor, wie sich die Aquakultur-Produktion in der Vergangenheit entwickelt hat. Es existieren zudem auch Analysen zur wirtschaftlichen Situation der deutschen Aquakulturbetriebe und zu den Herausforderungen, mit denen sich diese Betriebe gegenwärtig konfrontiert sehen. Ansätze bestehen auch in Hinblick auf die fischartenspezifischen Entwicklung von wirtschaftlichen Benchmarks (Lasner et al. 2017), auf deren Basis perspektivisch die jeweils besten verfügbaren Technologien (BVT) definiert werden könnten. Das Öko-Institut hat in der jüngeren Vergangenheit ebenfalls Empfehlungen zu Nachhaltigkeits-Leitplanken vorgeschlagen, die bei einem weiteren Ausbau der Aquakultur in Deutschland berücksichtigt werden sollten. Ebenso hat das Öko-Institut Einzelbewertungen zur Nachhaltigkeit (u.a. Ökobilanzen/Life Cycle Assessments und Öko-Effizienzanalysen) von Systemkomponenten, Teilsystemen und Forschungs- und Pilotanlagen durchgeführt (Möller und Antony 2015).

Während es auf globaler Ebene darüber hinaus auch Ansätze zur Vorhersage der zukünftigen Entwicklung der Aquakulturproduktion gegeben hat (vgl. (World Bank 2013; Kobayashi et al. 2015)), existieren vergleichbare Prognosen für die zukünftige Entwicklung des Aquakultur-Sektors in Deutschland bislang nicht. Außerdem fehlt es derzeit noch an einer umfassenden Einschätzung oder gar einer Erhebung zum aktuellen Ressourcen- und Energiebedarf des Aquakultur-Sektors in Deutschland.

Die Diskussion über bestehende Vor- und Nachteile der Aquakultur wird in Deutschland durchaus kontrovers geführt. Nicht zuletzt deshalb besteht heute eine weitreichende Verunsicherung bei Verbraucherinnen und Verbrauchern. Die Autoren dieser Studie gehen davon aus, dass eine breit angelegte, in Zukunft jedoch noch weiter zu entwickelnde integrierte Betrachtung der ökologischen Vor- und Nachteile einen wichtigen Beitrag zu einer sachlich und faktenbasiert geführten Diskussion leisten kann.

2. Zielstellung, methodischer Ansatz und Untersuchungsrahmen

2.1. Zielstellung

Das Öko-Institut hat in den zurückliegenden fünf Jahren durch die entwicklungsbegleitende Bewertung zahlreicher technologischer Neu- und Weiterentwicklung im Bereich der Aquakultur-Prozesskette seine methodische Expertise zur integrierten Bewertung der Nachhaltigkeitsaspekte von F&E-Projekten im Aquakultursektor eingebracht (Möller et al. 2015; Möller und Antony 2015). Dabei wurden auch erste Ansätze für die zukünftige Entwicklung einer ökologisch nachhaltigen Aquakultur in Deutschland beschrieben (Möller und Antony 2015). Im vorliegenden Projekt werden diese Ansätze aufgegriffen, teilweise erweitert und um bislang nicht berücksichtigte Teilsektoren der Aquakultur (Teiche und Durchflussanlagen) ergänzt. Die übergeordnete Zielsetzung des hier vorgestellten Projekts ist es, den Stand des Wissens um die notwendige Entwicklung der Aquakultur in Deutschland zusammenzufassen und darauf aufbauend, konkrete Politikempfehlungen für das zuständige Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) abzuleiten.

2.2. Methodischer Ansatz

Methodischer Ausgangspunkt ist dabei eine Erfassung des wirtschaftlichen, technologischen und ökologischen Status quo der deutschen Aquakultur. Hierzu wurden Informationen aus statistischen Erhebungen, Marktanalysen, wissenschaftlicher Literatur und die Erkenntnisse aus eigenen For-

schungsarbeiten des Öko-Instituts ausgewertet. Ebenso wurden gezielt Experten und Expertinnen befragt und es werden vorhandene (politik-)strategische Ansätze aufgegriffen. Mit dem hier gewählten Einsatz des strategischen Planungsinstruments des „Backcasting“ unterscheidet sich der gewählte Methodenansatz von den bereits vorliegenden Prognosen zur zukünftigen Entwicklung der Aquakultur auf globaler Ebene (Hall et al. 2011; World Bank 2013; Diana 2013; OECD 2015). Im Gegensatz zu den genannten Studien, wird im vorliegenden Fall die anzustrebende Zukunftssituation bewusst gewählt und nicht die wahrscheinliche Zukunft vorherzusagen versucht. Als Projektionslinie für den Zukunftshorizont wurde das Jahr 2050 gewählt. Entsprechend umfasst der zeitliche Rahmen der vorliegenden Studie einen Zeitraum von 35 Jahren. Die vorliegende Studie ist die erste, die sich explizit auf die künftige Entwicklung der Aquakultur in Deutschland bezieht. Die Beschreibung einer wünschenswerten Zukunft ist notwendigerweise mit Unsicherheiten behaftet. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wurde entschieden, ergänzend auch die Grundstruktur eines rechenfähigen Simulationsmodells zu entwickeln. Im Ergebnis liegt somit nun auch das Modell „AMOUNT“ (Aquakultur Monitoring Umwelt und Nachhaltigkeit) vor, welches es erlaubt, den aktuellen Stand der Aquakultur in Deutschland kontinuierlich fortzuschreiben. Ebenso kann dieses dynamisch adaptierte Modell auch dazu genutzt werden, alternative Entwicklungen der deutschen Aquakultur darzustellen und die Ergebnisse vergleichend zu bewerten.

2.3. Untersuchungsrahmen

Fisch ist, neben anderen Lebensmitteln, ein hochwertiger Bestandteil einer gesunden und ausgewogenen Ernährung. Wie andere tierische Proteinquellen ist auch Fisch nicht *per se* als unbedenklich einzustufen. Über die negativen Folgen der Fischproduktion (Überfischung der Meere, Nährstoff- und Antibiotikaausträge, Belastungen des Fisches mit kritischen Substanzen) wird immer wieder in den verschiedensten Medien berichtet⁴. Ohne gezielte Strategien und Maßnahmen zur Verbesserung der ökologischen Nachhaltigkeit der Fischproduktion werden diese Probleme, angesichts des global gesehen stark wachsenden Aquakultur-Sektors, dramatisch wachsen. Die Formulierung einer wünschenswerten Zukunft für die Aquakultur muss daher zum einen berücksichtigen, dass zwar einerseits genug, jedoch andererseits auch nicht zu viel Fisch gegessen wird. Zudem ist sicherzustellen, dass der konsumierte Fisch mit möglichst geringen Folgen für die Umwelt produziert wird.

Der Fischkonsum in Deutschland ist zu einem außerordentlich hohen Anteil (ca. 80%) auf Importe angewiesen. Aus Umweltsicht kritisch ist die hohe Importabhängigkeit insbesondere dann, wenn der in Deutschland konsumierte Fisch aus Regionen bzw. Produktionssystemen stammt, in denen Umweltaspekte kaum oder überhaupt nicht berücksichtigt werden. Von der 20% Eigenversorgung gehen wiederum nahezu 90% auf die Anlandungen der deutschen Hochseefischerei zurück. Mit dem hohen Importanteil werden negative Umweltfolgen des deutschen Konsums in andere Regionen der Welt quasi exportiert. Vor diesem Hintergrund ist es erstrebenswert, die bestehenden Potenziale zum Ausbau nachhaltiger Aquakultur in Deutschland möglichst weitgehend zu erschließen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass ohne eine Definition des anzustrebenden Zielzustandes, die Probleme der Aquakultur in Zukunft vermutlich nicht zufriedenstellend gelöst werden können. Daher werden im Folgenden zunächst Ansatzpunkte und Strategien beschrieben, wie die Aquakulturproduktion in Deutschland ausgebaut werden kann und wie dabei gleichzeitig negative Folgen für die Umwelt vermieden oder zumindest so weit wie möglich reduziert werden können.

⁴ Für eine kleine Auswahl der umfangreichen Berichterstattung seien hier genannt: „Weggefischt“ Grafik zu Überfischung der Meere –Zahlen und Fakten vom WWF; „Massensterben bei zweitgrößtem Lachs-Exporteur der Welt“ in der NZZ vom 10.03.2016; „Gesundheitsgefahr aus der Fischfarm“ in der Welt vom 05.10.2007.; „Lust auf Lachs. Der globale Wahnsinn“ im ZDF gesendet am 14.12.2016.; „Fette Fische. Die Umerziehung der Zuchtlachse“ in Le Monde diplomatique vom 12.10.2017, „Der schmutzige Fisch“ Beitrag in der GV kompakt vom Oktober 2014.

Die vorliegende Untersuchung fokussiert auf technologische Aspekte und Innovationen⁵. Diese Schwerpunktsetzung erfolgt bewusst und auf Basis der Erfahrung von zwei kürzlich abgeschlossenen Forschungsprojekten, die von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert bzw. beauftragt wurden (Möller et al. 2015; Möller und Antony 2015). In den vergangenen Jahren wurde in diesem Zusammenhang eine Vielzahl verschiedener Ansätze zur Wasser- und Nährstoffkreislaufschließung entwickelt. Gleichzeitig zeigte sich, dass diese Ansätze noch weiterentwickelt werden bzw. die Hürde für den Massenmarkt auf nationaler und internationaler Ebene überwunden werden müssen. In Ergänzung zur technologischen Perspektive wird daher auch eine akteursbezogene Perspektive eingenommen. Übergeordnetes Ziel ist es, herauszuarbeiten, welche Akteurskooperationen für die Überwindung noch bestehender technischer bzw. ökonomischer Hemmnisse (z.B. Markteintrittsbarrieren) erforderlich sind.

2.4. Aufbau des Projekts und des vorliegenden Projektberichts

Das hier beschriebene Projekt umfasst drei Arbeitspakete. Die innerhalb der Arbeitspakete bearbeiteten Fragestellungen werden jeweils in Form eigener Kapitel dargestellt. Im ersten Arbeitspaket wurde der wünschenswerte Zielzustand einer nachhaltigen Aquakultur in Deutschland im Jahre 2050 konkretisiert (Kapitel 3). Darauf aufbauend werden im Zuge des Arbeitspakets 2 plausible Entwicklungspfade und bestehende Entwicklungsbedarfe identifiziert, die zur Erreichung des wünschenswerten Zielzustandes erforderlich sind (Kapitel 4). In Kapitel 5 werden die Ergebnisse des Eigenprojekts bewertet, bevor abschließend in Kapitel 6 konkrete Politikempfehlungen abgeleitet werden, deren Umsetzung die nachhaltige Entwicklung der deutschen Aquakultur unterstützen kann.

3. Arbeitspaket 1: Konkretisierung des Zielzustandes „Nachhaltige Aquakultur 2050“

Die Erzeugung tierischer Lebensmittel, entweder aus terrestrischer Landwirtschaft oder aus Aquakultur, muss zukünftig den Ansprüchen an eine nachhaltige Produktion genügen. Entsprechend müssen bestehende Produktionsformen, so sie nicht bereits als nachhaltig anzusehen sind, entsprechend weiterentwickelt werden. Eine konkrete und umfassende Zukunftsvision, wie nachhaltige Aquakultur im Jahr 2050 aussehen kann oder soll, existiert bislang nicht. Im Rahmen des ersten Arbeitspaket wird daher erörtert, welcher Zielzustand aus ökologischer Sicht bis im Jahr 2050 erreicht werden sollte. Als Ausgangspunkt wurde dabei zunächst eine Analyse der Ist-Situation durchgeführt. Hierzu wurde zunächst der heutige Fischkonsum in Deutschland analysiert (Kapitel 3.1). Darauf aufbauend wurden, ausgehend von der heutigen Struktur des deutschen Aquakultursektors, die für eine nachhaltige Entwicklung wichtigen Parameter untersucht und es wurden diejenigen Teilsektoren und Produktionstechniken identifiziert, die für die zukünftige Entwicklung der Aquakultur relevant sind oder es perspektivisch sein werden (Kapitel 3.2).

In Kapitel 3.3 wird darauf aufbauend der wünschenswerte Zielzustand einer nachhaltigen Aquakultur im Jahr 2050 definiert. Letztlich wird damit gezeigt, mit welchen Technologien bzw. welchem Technologiemix in den verschiedenen Teilsektoren der Aquakultur im Jahr 2050 welche Zielfischarten ökologisch produziert werden sollten.

⁵ Herausforderungen, die sich hinsichtlich des Tierschutzes in der Aquakultur ergeben (z.B. Erhöhung der Besatzdichten, Auswahl und Gestaltung der Fischhaltungseinrichtungen) sind nicht explizit Bestandteil der im Wesentlichen auf technologische Aspekte und Innovationen fokussierten Untersuchung. Gleichwohl werden Tierschutz-Aspekte jeweils mitbedacht.

3.1. Fischkonsum in Deutschland

Die Analyse des heutigen Fischkonsums in Deutschland, auch im Vergleich zum Fischkonsum in Europa, stellt den Ausgangspunkt dieser Untersuchung dar. Dabei wurde untersucht, welche Fische und Fischerzeugnisse in welchen Mengen konsumiert werden, ob diese Fische aus der marinen Fangfischerei oder aber aus Aquakultur stammen, und ob es sich dabei um heimische Erzeugnisse (Eigenproduktion) oder aus dem Ausland importierte Erzeugnisse handelt.

Basierend auf 2017 veröffentlichten Daten des Fisch-Informationszentrum e.V. zeigt Tabelle 3-1 die Rangfolge der bedeutendsten See- und Süßwasserfische für die Jahre 2014 bis 2016. Insgesamt summiert sich der Fischkonsum in Deutschland auf etwa 14 kg Lebendgewicht pro Kopf und Jahr. Der Fischkonsum in Deutschland liegt damit deutlich unter dem europäischen Durchschnitt von derzeit knapp 25 kg (vgl. auch Tabelle 3-2).

Tabelle 3-1: Rangfolge der bedeutendsten See- und Süßwasserfische in Prozent

Fischart	2014*	2015*	2016**
Lachs	21,8	20,9	19,2
Alaska-Seelachs	21,2	19,0	18,3
Hering	14,6	15,7	17,4
Thunfisch, Boniten	12,3	14,6	11,5
Forellen	5,8	6,3	5,3
Kabeljau	2,7	3,2	4,5
Pangasius, Welse	2,8	2,6	2,1
Seelachs	1,5	1,6	2,1
Makrele	2,0	2,4	1,6
Rotbarsch	1,4	1,8	1,5
Sardine	0,7	0,7	1,4
Zander***	1,0	1,0	1,2
Scholle	1,2	0,9	1,0
Schellfisch	0,7	0,5	0,7
Karpfen	0,8	0,8	0,7
Wittling	0,5	0,1	0,6
Dorade	0,5	0,5	0,5
Tilapia	0,5	0,6	0,4
Sonstige	8,3	7,0	10,0

*berichtigt. ** vorläufig. ***geschätzt

Quelle: Fisch-Informationszentrum e.V. (2017), verfügbar unter: https://www.fischinfo.de/images/broschueren/pdf/FIZ_DF_2017.pdf

Betrachtet man Tabelle 3-1 fällt auf, dass der in Deutschland verzehrte Fischen nahezu vollständig aus der marinen Fangfischerei stammt. Unter den 15 wichtigsten Fischarten finden sich jedoch auch mehrere Süßwasserfischarten wie etwa Pangasius, Forelle, Zander und Karpfen.

Eine ähnliche Verteilung zeigt sich auch für den Konsum der wichtigsten Fischarten in der EU. Wie aus Tabelle 3-2 hervorgeht, werden in Europa (EU-28) pro Kopf und Jahr knapp 25 kg Fisch (Lebendgewicht) konsumiert, wobei auf die 13 wichtigsten Fischarten etwas mehr als 60% des Gesamtkonsums entfallen. Hier dominieren die marinen Fischarten noch deutlicher den Konsum und unter den wichtigsten Fischarten findet sich mit dem Pangasius lediglich ein Süßwasserfisch.

Tabelle 3-2: Konsum der wichtigsten Fischarten in der EU (EU-28) (2012)

Fischart	Konsum EU-28 [kg Lebendgewicht/ Kopf/ Jahr]	% Wildfang*	%Aquakultur*
Thunfisch	2.02	100%	0%
Lachs	1.97	7%	93%
Kabeljau/Dorsch	1.96	98%	2%
Seelachs	1.60	100%	0%
Hering	1.52	100%	0%
Venusmuschel	1.27	12%	88%
Seehecht	0.86	100%	0%
Pangasius	0.82	0%	100%
Makrele	0.78	100%	0%
Tintenfisch	0.76	100%	0%
tropische Shrimps	0.68	42%	58%
Sardine	0.54	100%	0%
Jakobsmuscheln	0.48	81%	19%
Summe (wichtigste Arten)	15.26	---	---
Summe (Alle Arten)	24.90	---	---

* Die Prozentangaben beziehen sich auf den Konsum in EU-28, es wird jedoch davon ausgegangen, dass sie in erster Näherung auch auf den Konsum in Deutschland übertragbar sind.

Quelle The EU fish market, 2015 edition

Unter den wichtigsten Spezies wiederum, werden heute nur fünf (Lachs, Venusmuschel, Pangasius, tropische Shrimps und Jakobsmuscheln) in nennenswertem Umfang in Aquakultur produziert. Die übrigen Fischarten, allen voran Thunfisch, Kabeljau, Seelachs, Hering und Seehecht, stammen hingegen aus der marinen Fangfischerei. Nicht zuletzt aufgrund der großen wirtschaftlichen Potenziale wurden in der Vergangenheit erhebliche Anstrengungen zur Produktion von insbesondere Thunfisch in Aquakultur unternommen.⁶ Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist jedoch nicht ab-

⁶ Für Thunfisch derzeit technisch realisiert ist die Masthaltung von Thunfisch-Wildfängen in Netzkäfigen, Für die Eltern- tierhaltung bzw. die Brut- und Aufzucht werden landbasierte, jedoch küstennah installierte Kreislaufanlagen diskutiert.

sehbar, ob eine Aquakultur-Produktion von Thunfisch und weiteren wirtschaftlich interessanten Seefischarten in naher Zukunft möglich sein wird.

Hervorzuheben ist neben dem Lachs (93% Aquakultur), der zu 100% aus Aquakultur stammende Pangasius, der für den europäischen Markt jedoch nahezu vollständig in Asien (v.a. Vietnam) produziert wird.

Sowohl für Deutschland als auch für Europa lässt sich festhalten, dass die Erzeugnisse aus mariner Fangfischerei den Konsum dominieren. Gleichzeitig bewegt sich der Fischfang für wirtschaftlich interessante Fischarten entweder an der Grenze der natürlichen Regenerationsfähigkeit der Bestände oder er liegt sogar jenseits des maximal erzielbaren Dauerertrags (engl. maximum sustainable yield, MSY). Vor diesem Hintergrund und angesichts der aktuellen fischereipolitischen Rahmenseetzungen ist nicht davon auszugehen, dass sich die Erträge aus der marinen Fangfischerei für die oben genannten Fischarten deutlich werden steigern lassen.

Angesichts der bestehenden Problematik der Überfischung der Weltmeere und der Stagnation der Fischfangerträge ist damit klar, dass die Nachfrage nach Fisch in Europa aus einem Wachstum der Produktionskapazitäten in der Aquakultur kommen müsste. Implizit ist damit aber auch absehbar, dass für eine Deckung der wachsenden Nachfrage insbesondere solche Arten in Frage kommen, für die eine Produktion in Aquakultur technisch möglich und wirtschaftlich ist. Grundsätzlich ist also davon auszugehen, dass diese Fischarten in Zukunft an Bedeutung gewinnen werden.

Betrachtet man nicht nur den Konsum, sondern auch die Herkunft des Fisches, so zeigt sich, dass Deutschland derzeit etwa einen Eigenversorgungsgrad von knapp unter 20% hat. Das bedeutet, dass bei einem jährlichen Pro-Kopf-Konsum von 14 kg nur etwas mehr als 2,7 kg Fisch aus Eigenproduktion stammen. Bedenkt man zusätzlich, dass hiervon etwa 2,4 kg aus den Anlandungen der deutschen Fischfangflotte stammen, wird klar, dass derzeit nur etwa 0,3 kg oder 2% des jährlichen Pro-Kopf-Konsums aus inländischer bzw. heimischer Aquakultur stammen. Wie Abbildung 3-1 zeigt, liegt der Eigenversorgungsgrad Deutschlands deutlich unter dem durchschnittlichen Eigenversorgungsgrad auf Ebene der EU-28, der für den Zeitraum zwischen 2008 und 2012 mit 45% angegeben wird.

Für Europa sind derartige Überlegungen jedoch noch nicht in wirtschaftlichem Maßstab umgesetzt. Für Kabeljau/Dorsch ist man hier schon etwas weiter. So existieren mit zwei Betrieben in Norwegen, die nach Stand des Wissens weltweit einzigen Kabeljau-Aquakulturen.

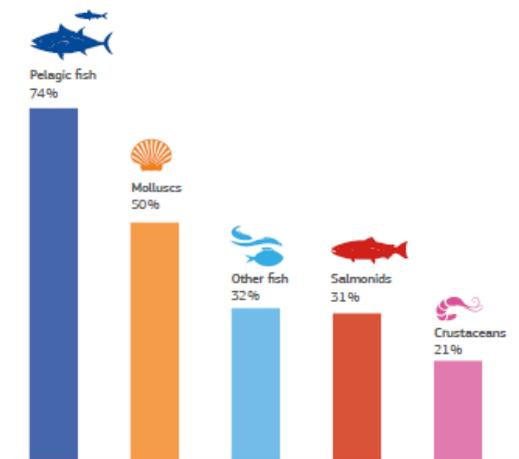
Abbildung 3-1: Eigenversorgungsquote für Fisch und Fischprodukte (EU-28) in 2012

Self-sufficiency

The EU's self-sufficiency rate, which is the ratio between own production (catches plus aquaculture) and total apparent consumption, was stable at around 45% between 2008 and 2012.

The EU's production covers two thirds of consumption for pelagics and half that of molluscs, but is more dependent on external sourcing for crustaceans and salmonids.

European Union's self-sufficiency rate (2012) (percentage by commodity group)



Source: Eumofa.

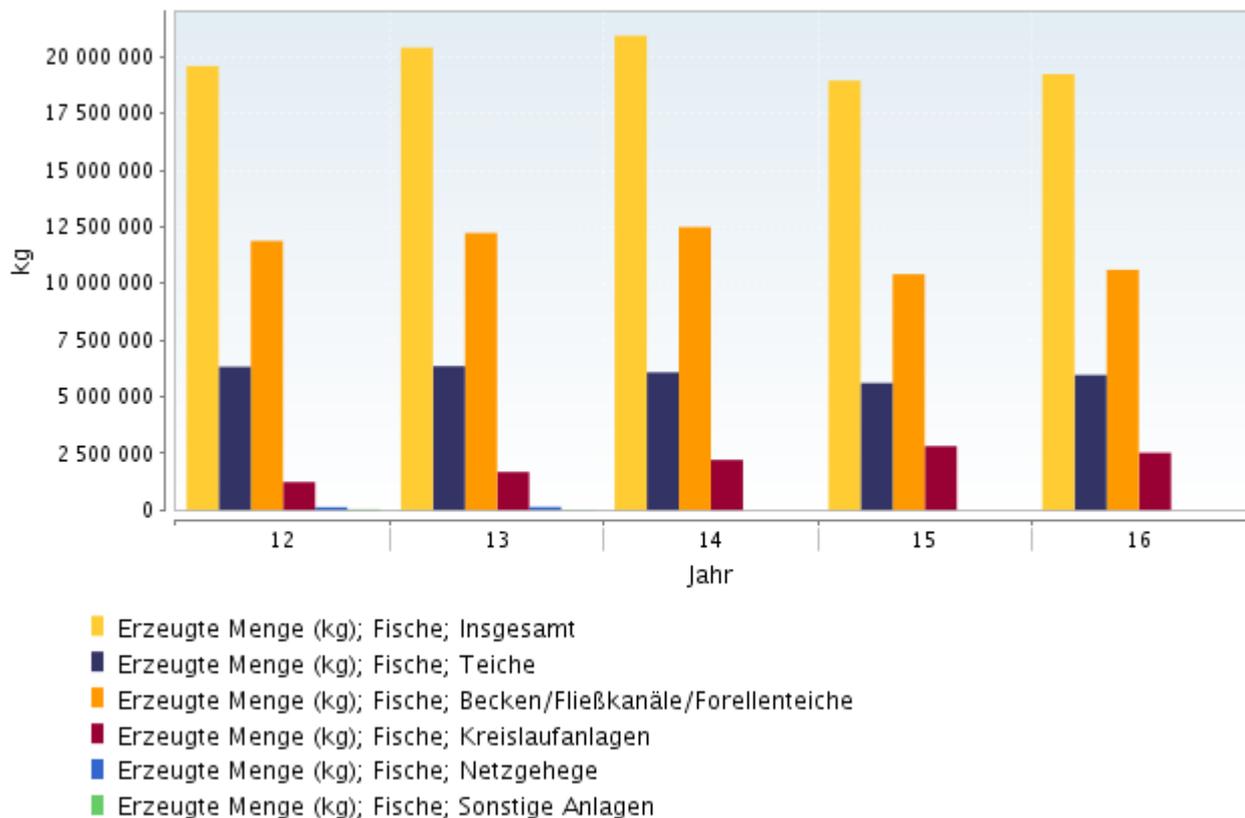
Quelle: EUMOFA 2014

Insgesamt kann abgeleitet werden, dass Deutschland sowohl hinsichtlich des Fischkonsums als auch in Bezug auf die Eigenversorgungsquote im europäischen Vergleich eher unterdurchschnittlich abschneidet. Im folgenden Kapitel wird ein detaillierter Blick auf die Strukturierung des Aquakultur-Sektors in Deutschland geworfen.

3.2. Strukturierung der deutschen Aquakultur

Die Erzeugung von Fischen in Aquakultur in Deutschland liegt in den Jahren von 2012 -2016 nach amtlicher Statistik relativ konstant bei etwa 20.000 t (Abbildung 3-2).

Abbildung 3-2: Erzeugte Menge Fisch in deutscher Aquakultur nach Anlagenarten



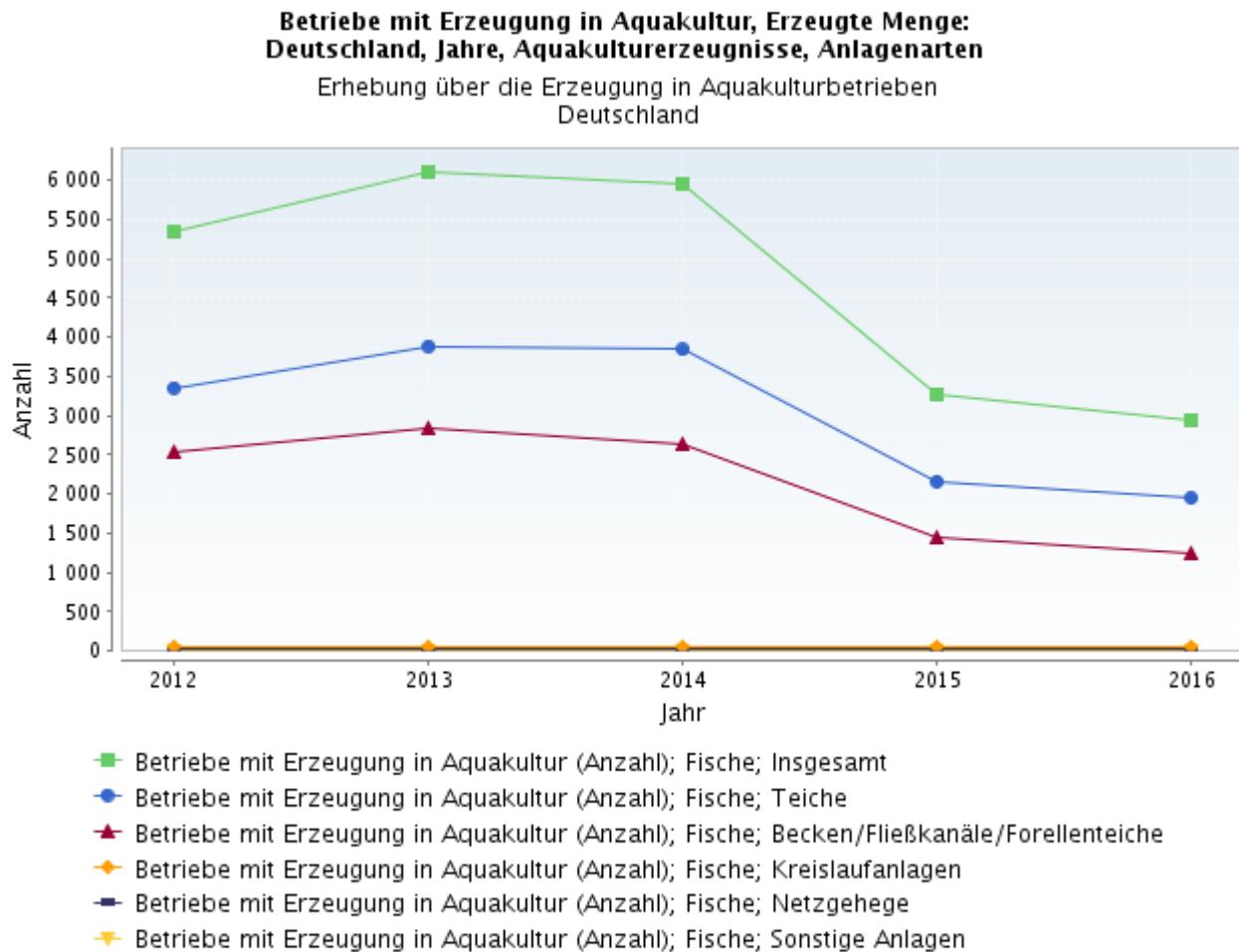
Quelle: © Statistisches Bundesamt (Destatis), 2017

Relevante Teilsektoren sind im Jahr 2016 demnach Becken, Fließkanäle und Forellenteiche (im Folgenden als Durchflussanlagen bezeichnet) mit 61%. Es folgen Teichanlagen (32%) und mit einem kleinen Anteil die Fischzucht in Kreislaufanlagen⁷ (6%). Die Aquakultur in Netzkäfigen ist mit etwa 1% von nur geringer Bedeutung. Die Erzeugung in Teichen bleibt über den Betrachtungszeitraum weitgehend konstant. Schwankungen zeigt hingegen die Erzeugung in Durchflussanlagen. Nach einem Anstieg der Erzeugung in Kreislaufanlagen in den Jahren von 2012 bis 2015, lag die Erzeugung im Jahr 2016 leicht unter dem Vorjahreswert.

Während die jährlichen Produktionsmengen in den vergangenen fünf Jahren also relativ konstant blieben, zeigt sich eine deutliche Abnahme bei der Anzahl der Aquakultur-Betriebe in Deutschland (Abbildung 3-3).

⁷ Eine Kreislaufanlage umfasst, neben dem eigentlichen Fischhaltebecken, einen Prozesswasseraufbereitungs-kreislauf mit weiteren Becken und verschiedenen, je auf die Bedürfnisse der Besatzfische angepassten Wasserauf-bereitungsprozessen. Das Prozesswasser in einer Kreislaufanlage wird mehrmals täglich mittels einer Pumpe um-gewälzt und passiert dabei in aller Regel mehrere Reinigungsstufen, bevor es wieder zurück in das Fischhaltebecken geführt wird.

Abbildung 3-3: Anzahl der Betriebe mit Erzeugung von Fisch in Aquakultur nach Anlagenarten



Quelle: © Statistisches Bundesamt (Destatis), 2017

Die Entwicklung der Zahl der Betriebe ist im Betrachtungszeitraum zunächst durch einen leichten Anstieg gekennzeichnet. Die Abbildung suggeriert einen deutlichen Rückgang bei der Zahl der erfassten Betriebe von 2014 auf 2015. Diese ist jedoch im Wesentlichen auf die Einführung von Erfassungsgrenzen der amtlichen Statistik zurückzuführen, die insbesondere viele Klein- und Kleinstbetriebe von der Auskunftspflicht entlasten soll. Aufgrund der Einführung der Erfassungsgrenzen ist es momentan schwierig, eine Aussage zur tatsächlichen Entwicklung der Zahl der Betriebe zu treffen. Dies wird verlässlich erst möglich sein, wenn nach der neuen Erfassungslogik einheitlich bestimmte Daten wieder für mehrere Jahre vorliegen.

Vergleicht man die Zahl der Betriebe im Jahr 2016 mit den Vorjahreswerten, zeigt sich sowohl für die Betriebe mit Durchflussanlagen als auch für Betriebe mit Erzeugung in Teichen ein Rückgang. 2012 wurden in 56 Betrieben Fische in Kreislaufanlagen erzeugt. Nach einem vorübergehenden Absinken der Anzahl der in der Statistik erfassten Betriebe (2014: N=48), stieg die Zahl der Betriebe in den beiden Folgejahren wieder an (2015: N= 57; 2016: N= 61).

3.2.1. Heutige und zukünftige Relevanz der verschiedenen Teilsektoren

Als relevante Teilsektoren der Aquakultur werden solche Sektoren verstanden, die bereits heute oder perspektivisch sowohl wirtschaftliche Bedeutung als auch ökologische Bedeutung (positiv und

negativ, vgl. Abschnitt 3.3) aufweisen. Konkret werden, weitgehend analog zur Erfassung im Rahmen der amtlichen Statistik, die folgenden Teilsektoren unterschieden:

- Teichwirtschaft
- Durchflussanlagen
- Kreislaufanlagen
- Netzkäfige

Die genannten Sektoren weisen in Bezug auf die weitere Entwicklung deutliche Unterschiede und jeweils sektorspezifische Charakteristika und Herausforderungen auf. Im Folgenden und insbesondere bei der Beschreibung der Szenarien künftiger Entwicklung im Arbeitspaket 2 werden daher sektorspezifische Einzelbetrachtungen vorgenommen.

3.2.2. Einschätzung zum Status Quo der Aquakulturproduktion in Deutschland

Die Fischzucht in Teichen und Durchflussanlagen liefert qualitativ und ökologisch hochwertige, regional und (teilweise) saisonal erzeugte Lebensmittel, hauptsächlich für den deutschen Markt. Insbesondere die traditionelle Teichwirtschaft und die Fischerzeugung in Durchflussanlagen schufen und schaffen Beschäftigung in Deutschland. Ökologische Vorteile weist, nicht zuletzt unter Biodiversitätsgesichtspunkten und als Beitrag zum Erhalt ökologisch hochwertiger Kulturlandschaften, die extensive bzw. semi-intensive Teichwirtschaft. Ohne eine entsprechende Bewirtschaftung würden diese schützenswerten Naturräume möglicherweise unwiederbringlich verloren gehen.

Die in Deutschland aktiven Binnenfischer und Teichwirte haben eine große Expertise im alltäglichen und praktischen Umgang mit Fischen in den von Ihnen bewirtschafteten Produktionssystemen. Neben den Binnenfishern und Teichwirten existiert mit zahlreichen Bundes- und insbesondere Landesforschungsanstalten und -organisationen ein breites und vielfältiges wissenschaftliches Fundament für die Erforschung und weitere Entwicklung der Aquakultur in Deutschland. Durch zahlreiche und in vielen Fällen anwendungsnahe F&E-Projekte wird neues Wissen generiert. Neue technologische Konzepte werden entwickelt und erprobt, und damit letztlich neue Formen der Aquakulturproduktion zum Stand der Marktreife gebracht.

Neben diesen grundsätzlich positiven Ausgangsvoraussetzungen bestehen jedoch auch Hemmnisse für die Aquakultur, die einer wirtschaftlich stärkeren Entwicklung des Sektors in der Vergangenheit im Wege standen und nach wie vor stehen. So sehen sich bestehende Aquakulturbetriebe einer ganzen Reihe von Herausforderungen gegenübergestellt. Neben der oft ungeklärten Frage der Nachfolge in der Betriebsleitung (Generationenwechsel), werden Verluste durch Prädatoren und die internationale (Billig-) Konkurrenz als wesentliche Herausforderungen benannt, wie beispielhaft eine Umfrage unter den Mitgliedern der Teichgenossenschaft Aischgründer Karpfen im vergangenen Jahr zeigt⁸ (Vortrag in Starnberg). Auch im Vergleich zur internationalen Konkurrenz höhere Anforderungen zur Erfüllung von Umweltauflagen werden in diesem Zusammenhang genannt.

Für die traditionelle Fischwirtschaft und hier insbesondere die Teichwirtschaft existieren angesichts von räumlichen Nutzungskonflikten sowie bestehenden und ordnungsrechtlichen Bestimmungen (z.B. keine Genehmigung für neue Teichanlagen) nur beschränkte Potenziale, die Produktion auszuweiten. Anzumerken ist hier, dass im Rahmen der EU-seitig vorgegebenen und für Deutschland

⁸ Bezug genommen wird hier auf eine im Jahr 2016 durchgeführte Befragung unter Genossenschaftsmitglieder der Teichgenossenschaft Aischgründer Karpfen, deren Ergebnisse im Rahmen einer Veranstaltung in Starnberg im Januar 2017 vorgestellt wurden.

durch den NASTAQ konkretisierten Wachstumsziele keine Produktionszuwächse für die Fischzucht in Teichanlagen vorgesehen sind. Gleichzeitig ist festzuhalten, dass eben dieser Teil der Fischzucht das Rückgrat der deutschen Binnenaquakultur bildet.

Der Sektor der Binnenfischerei und Teichwirtschaft sieht sich zudem mit akuten Nachwuchsproblemen (v.a. Nachfolge in Betrieben) konfrontiert. Die Zahl der Absolventen praktischer / handwerklicher Berufsausbildungen deckt die gegenwärtige bzw. die zukünftige Nachfrage möglicherweise nicht. So befanden sich im Jahr 2015 in Deutschland insgesamt nur 213 Personen in der dreijährigen Ausbildung zum Fischer bzw. Teichwirt (Statistisches Bundesamt 2016b, 2016b). Geht man davon aus, dass alle Auszubildenden ihre Berufsausbildung erfolgreich abschließen, bedeutet dies, dass in den kommenden drei Jahren nur zwischen 54 und 81 Personen in den Beruf einsteigen. Angesichts der Zahl der Betriebe, die sich in Deutschland (ohne Klein- und Kleinstbetriebe) insgesamt auf mehr als 3200 summiert, ist dies offensichtlich zu wenig. Es droht damit ein akuter Fachkräftemangel, wenn dieser – insbesondere auf regionaler bzw. lokaler Ebene – nicht bereits besteht. Damit droht Deutschland ein möglicherweise schwerwiegender Verlust an praktischer Fischwirtschaftsexpertise. Ist diese erst einmal verloren, dürfte sie, wenn überhaupt, nur schwer und unter erheblichen Zusatzaufwendungen zurückzugewinnen sein.

Es besteht jedoch nicht nur ein Mangel an Fisch-Praktikern. Die sehr gute Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses an deutschen Forschungseinrichtungen bringt Jahr für Jahr hervorragend ausgebildete Nachwuchskräfte hervor. Inwiefern und in welchem Umfang es diesen Nachwuchskräften gelingt, am Ende ihrer wissenschaftlichen Ausbildung eine adäquate Anstellung in Deutschland zu finden, oder sie ihre berufliche Zukunft eher im Ausland suchen müssen, kann hier nicht abschließend geklärt werden. Grundsätzlich könnte, auch im Sinne einer Sicherstellung des langfristigen praktischen und wissenschaftlich-technischen Kompetenzerhalts im Bereich der Binnenaquakultur in Deutschland, über die Einführung von praxisnahen dualen Studiengängen nachgedacht werden. Insbesondere die intensive Aquakultur in Kreislaufanlagen braucht gleichermaßen fischwirtschaftliches wie (prozess-)technisches Knowhow.

Ein großes Wachstumspotenzial wird nun schon seit geraumer Zeit der Fischzucht in Kreislaufanlagen (KLA) zugeschrieben. Auch unter ökologischen Gesichtspunkten weist die Fischzucht in KLA systemimmanente Vorteile, etwa durch geringeren Wasserverbrauch und geringere Eutrophierung in aufnehmende Umweltmedien auf. Kritisch wird hingegen der höhere spezifische Energiebedarf der KLA gesehen, der insbesondere bei wirtschaftlich interessanten, jedoch anspruchsvollen Fischarten einen Anteil von bis zu 50% der gesamten Treibhausgasemissionen je Kilogramm Fisch ausmachen kann. Die technische Machbarkeit, auch im kommerziellen Maßstab, wurde durch entsprechende Produktionsstätten im In- und Ausland zwischenzeitlich mehrfach gezeigt. Gleichzeitig ist die Umsetzung der prozesstechnisch komplexen Kreislauftechnik in der Aquakultur nach wie vor mit erheblichen wirtschaftlichen Risiken verbunden. Die Produktion von Fischen in KLA trägt derzeit nur etwa 6% zur binnenländischen Produktion bei (vgl. 3.1) und stieg in den letzten Jahren nur langsam an. Wesentlicher Hemmschuh dürften hier der hohe Investitionsaufwand und die vergleichsweise langen Reinvestitionszyklen für Kreislaufanlagen sein. Grundsätzlich besteht bei Investoren Interesse an der Finanzierung von entsprechenden Aquakultur-Anlagen, jedoch haben diese in vielen Fällen kaum praktische Expertise bei der Fischproduktion. Im Gegenzug stellen KLA, aufgrund der häufig höheren Produktionsmengen, aber auch zusätzliche Anforderungen an Marketing und Vertrieb der Aquakulturprodukte, die sich von den Anforderungen an den eher regional oder lokal ausgerichteten Verkauf traditioneller Fischzuchten unterscheiden.

Hinzu kommt, dass sich die in Teichen und Durchflusssystemen produzierten Fischarten und deren spezifische Haltungsbedürfnisse von den typischerweise in KLA produzierten Fischarten unterscheiden. Hier gilt es für die Zukunft zu prüfen, wie die praktische fischwirtschaftliche Expertise zu

den insbesondere in KLA produzierten Fischarten gegebenenfalls stärker als bislang in die berufliche Ausbildung von Fischern und Teichwirten integriert werden kann.

Zu einem umfassenden Blick zum aktuellen Stand der Aquakultur in Deutschland gehört auch, dass sie in der Öffentlichkeit eher kritisch, mitunter auch pauschal negativ diskutiert wird. Dem berechtigten Hinweis auf die möglichen negativen Folgen der Aquakulturproduktion wird nur selten ein Vergleich mit anderen, insbesondere landbasierten tierischen Produktionssystemen, gegenübergestellt. Dies ist nicht zuletzt darauf zurückzuführen, dass auf gesamtdeutscher Ebene vergleichsweise wenige belastbare und für eine robuste quantifizierende Bewertung geeignete Daten über die real entstehenden Umweltfolgen deutscher Aquakultur vorliegen. Neben der amtlichen Statistik (vgl. Abschnitt 3.1) erheben insbesondere das BMEL bzw. die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) als zentrale Umsetzungsbehörde Daten zur Fischerei. Hier bestünde grundsätzlich die Möglichkeit zur weiteren Versachlichung der Diskussion beizutragen, indem die in Form statistischer Monatsberichte bzw. dem Statistischen Jahrbuch veröffentlichten fischereiwirtschaftlichen Statistiken stärker im Vergleich zur terrestrischen Landwirtschaft diskutiert werden könnten. Darüber hinaus führt die BLE auch ein Register mit Namen und Anzahl der Aquakultur in KLA und, sofern vorhanden, die in der deutschen Aquakultur produzierten Fremdarten (nicht heimische Fische). Bei der Meldepflicht für dieses Register wäre es wünschenswert, neben Name und Produktionsmenge auch weitere umweltrelevante Informationen abzufragen, wobei darauf zu achten ist, eine Belastung der Betriebe durch entsprechend zusätzliche Berichtspflichten möglichst gering zu halten.

3.3. Definition des wünschenswerten Zielzustands in 2050

Am Beginn der Überlegungen zur Definition des wünschenswerten Zielzustandes einer nachhaltigen Aquakultur in Deutschland steht die Frage, wieviel Fisch von den Deutschen im Jahr 2050 überhaupt konsumiert werden sollte. In Ihren Studien prognostizieren das World Resources Institute (WRI) und die FAO auf globaler Ebene ein weiteres Wachstum der Aquakulturproduktion und auch eine Zunahme beim Konsum. In Ihren Zukunftsszenarien gehen sie davon aus, dass der globale Pro-Kopf-Konsum von derzeit etwa 19 kg auf über 24 kg im Jahr 2050 steigen wird. Gleichzeitig wird die Bedeutung des Fischkonsums als Beitrag zur langfristigen Sicherstellung einer qualitativ hochwertigen Nahrungsmittelversorgung der Menschheit hervorgehoben.

Für wirtschaftlich und industriell entwickelte Länder wie Deutschland, bei denen bereits heute ein (zu) hoher Anteil an Fleisch und tierischen Produkten Bestandteil der Ernährung ist, greift das auf globaler Ebene vertretbare Argument der Erhöhung des Anteils von Fisch zur Sicherung der Grundversorgung jedoch nicht. Letztlich reicht in Deutschland auch ein deutlich geringerer Fischkonsum zur Sicherstellung einer hochwertigen Nahrungsmittelversorgung aus.

Die Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE) empfiehlt zwei Mal wöchentlich je eine Portion Fisch zu essen. Die DGE-Empfehlung addiert sich zu einem Fischkonsum von etwa 10 kg⁹ pro Kopf und Jahr. Entsprechend liegt der aktuelle Fischkonsum in Deutschland um etwa 4 kg (bzw. 30%) über den DGE-Empfehlungen. Die Definition eines Zielzustandes der Aquakulturproduktion in Deutschland für das Jahr 2050 orientiert sich am Bedarf bzw. der Nachfrage nach Fisch sowie den Empfehlungen für eine gesunde Ernährung, wie sie die DGE herausgibt.

Somit wird im Rahmen der Definition des wünschenswerten Zielzustandes keine Empfehlung zum Wachstum des Fischkonsums insgesamt abgegeben. Im Gegenteil wird für Deutschland sogar

⁹ Die DGE empfiehlt den wöchentlichen Verzehr von 1 Portion (80-150g) fettarmen Seefischs und 1 Portion (70g) fettreichen Seefischs. Dies entspricht in Summe einem Wochenverzehr von 150-220g Fisch bzw. einem Jahresverzehr von 7,8-11,5 kg (Quelle: www.dge.de; abgerufen am 03.05.2017).

eine deutliche Reduktion um etwa 30% gegenüber dem heutigen Stand vorgeschlagen. Zudem wird die prognostizierte demografische Entwicklung für Deutschland für die Ableitung des künftigen Bedarfs berücksichtigt. Auf Basis aktueller Prognosen wird dabei davon ausgegangen, dass die Bevölkerung in Deutschland im Betrachtungszeitraum von etwa 81 Mio. Einwohnern im Jahre 2013 auf etwa 65 Mio. Einwohner im Jahr 2050 zurückgehen wird (Statistisches Bundesamt 2017). Hier ist anzumerken, dass die Abschätzung zur zukünftigen Einwohnerzahl Deutschlands verschiedenen Unsicherheiten, zum Beispiel in Hinblick auf die Zuwanderung durch Geflüchtete oder eine Veränderung bei der Geburtenrate, unterliegt. Im Zuge künftiger Arbeiten sollten die verschiedenen in diesem Zusammenhang vom statistischen Bundesamt durchgeführten Szenario-Rechnungen auch in das bestehende Modell zur Entwicklung der Aquakultur in Deutschland übertragen werden.

Ein gesteigerter Fischkonsum wäre nicht nur aufgrund des allgemein schon hohen Anteils an tierischen Erzeugnissen in der Nahrung in Deutschland problematisch, es würde sich dadurch auch ein erheblicher zusätzlicher Bedarf an neu zu errichtenden Produktionskapazitäten ergeben, für welche die gegebenen Rahmenbedingungen in Deutschland eventuell gar nicht ausreichend wären.

Wenn auch nicht in Bezug auf den Fischkonsum, so wird aber dennoch eine Erhöhung der Eigenversorgungsquote in Deutschland empfohlen, die ausgehend von einem aktuell auch im europäischen Vergleich niedrigen Niveau grundsätzlich möglich, wirtschaftlich wünschenswert und ökologisch sinnvoll (Vermeidung der Externalisierung von Umweltproblemen ins Ausland) ist. Die Ableitung eines quantitativen Wachstumsziels für die Deutsche Binnenproduktion soll dabei zugleich realistisch und umsetzbar, aber auch ambitioniert sein. Es ist zu berücksichtigen, dass bestimmte Fischerzeugnisse auch in Zukunft importiert werden sollten, etwa weil die entsprechenden Produkte in Deutschland nicht bzw. nur mit erheblichem Aufwand produziert werden können. Ebenso werden auch die Erträge der marinen Fangfischerei für die Zukunft einen in Ihrer Bedeutung zwar abnehmenden, jedoch aller Voraussicht nach immer noch relevanten Beitrag zum Fischkonsum in Deutschland darstellen. Vor diesem Hintergrund wurde entschieden, dass für die Definition des Zielzustandes ein gegenüber dem heutigen Stand um etwa 30% reduzierter Konsum an Fisch und Fischprodukten berücksichtigt wird.

Im Zuge der Festlegung eines Mengenziels für die deutsche Aquakultur muss die Unterstützung der bestehenden Produzenten (Karpfen und Forellen in Teich- bzw. Durchflus aquakultur) ein vorrangiges Interesse sein. Hier gilt es, den sich abzeichnenden Trend zum Rückgang der Zahl der Aquakulturbetriebe zu verlangsamen oder ganz zu stoppen und idealerweise umzukehren. Ein weiterer Verlust an Aquakulturbetrieben würde mittel und langfristig eine erhebliche Beeinträchtigung der Aquakultur-Produktion in Deutschland bedeuten. Die Beibehaltung und, wenn bzw. wo immer möglich, die Erhöhung der Eigenversorgung unter Mitnahme bestehender Betriebe/Akteure, die diese Eigenversorgungsquote in Vergangenheit und Gegenwart im Wesentlichen tragen, ist dementsprechend ein wesentliches wünschenswertes Ziel. Entsprechend gilt es Maßnahmen und Ansätze für Akteursallianzen und neue Formate der Kooperation auf lokaler, regionaler und bundesweiter Ebene zu entwickeln.

Dennoch wird ein quantitativ bedeutender Ausbau der Eigenproduktion in Deutschland nicht ohne die Einführung „neuer Aquakultur-Techniken“ realisierbar sein. Insbesondere das Ausschöpfen der im großtechnischen Maßstab noch weitgehend unerschlossenen Potenziale der Aquakultur in Kreislaufanlagen, aber auch die technologische Weiterentwicklung in den traditionellen Teilsektoren (Teiche und Durchflusanlagen) sind entscheidend, wenn eine signifikante Erhöhung der Eigenversorgung erreicht werden soll.

Im Zuge der Definition des wünschenswerten Zielzustandes wird, auf Basis der vorgenannten Überlegungen, ein erstes quantitatives Wachstumsziel für das Jahr 2050 vorgeschlagen. Dies erfolgt auch aus der Überlegung heraus, dass die Festlegung eines quantitativen Wachstumsziels eine Orientierung darüber erlaubt, in welchen Größenordnungen Produktionskapazitäten tatsächlich ausgebaut werden sollten und welche zusätzlichen konkreten Maßnahmen zur Erreichung der Ziele erforderlich sind. Ein weiteres Argument für die Festlegung auf ein Mengenziel besteht darin, dass dieses ein noch fehlendes und für die Zukunft auf gesamtdeutscher Ebene zu etablierendes Monitoring der ökologischen Auswirkungen der Aquakultur begünstigend wirken kann. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund, dass es bislang auf Bundesebene keine Erfassung der ökologischen Auswirkungen der Aquakultur gibt. Vergleiche mit der Produktion tierischer Lebensmittel in terrestrischer Landwirtschaft sind daher bislang kaum oder allenfalls mit großen Unsicherheiten möglich.

Basierend auf der Annahme, dass die Fischproduktion in Aquakulturen in Deutschland unter Berücksichtigung vergleichsweise hoher ökologischer Standards erfolgt, wird ein zukünftiger und schrittweiser Ausbau der Eigenversorgung Deutschlands über einen Ausbau der Aquakultur als wünschenswert angesehen. Als Mengenziel für das Bezugsjahr 2050 wurde im Rahmen der vorliegenden Untersuchung daher eine Erhöhung der Eigenversorgungsquote von derzeit 20% auf bis zu 50% gewählt, was der derzeit bereits bestehenden Eigenversorgungsquote in EU-28 entspricht (European Commission 2014).

Für den Ausbau der Eigenproduktion erscheint es zielführend, sektorspezifische Ausbauziele für die Aquakultur in Deutschland zu definieren. Unter Berücksichtigung der jeweiligen Ausbaupotenziale (vgl. hierzu auch die Einschätzungen zum Entwicklungspotenzial in BLE 2017) werden daher folgende Ausbauziele für die weitere Entwicklung der Aquakultur vorgeschlagen:

- Erhöhung der Eigenversorgungsquote Deutschlands komplett durch einen Ausbau der Aquakultur,
- davon 70% durch Ausbau der Kapazität von Kreislaufanlagen,
- davon 20% durch Ausbau (v.a. Intensivierung) der Teichwirtschaft und Durchflus aquakultur,
- davon 10% durch Ausbau der Kapazität von Netzkäfig-Aquakulturen.

Neben den Mengenzielen wurden weitere Qualitätskriterien und erforderliche Entwicklungsschritte in die Definition des wünschenswerten Zielzustandes für das Jahr 2050 aufgenommen. Für die Festlegung der aus Nachhaltigkeitsgesichtspunkten anzustrebenden Zukunftssituation wurden zunächst die bereits heute relevanten Teilsektoren der Aquakultur analysiert. Auf Basis eines einheitlichen Bewertungsansatzes wurde für die genannten Teilsektoren eine Erhebung zum „Status Quo der Nachhaltigkeitsbewertung“ vorgenommen. Hierzu wurde ein bewusst breit angelegtes Set von 16 semi-quantitativen Bewertungskriterien erstellt, welches die jeweils in den Teilsektoren eingesetzten Technologien und Prozesse in Hinblick auf folgende Aspekte bewertet¹⁰:

- Ressourceneffizienz und damit verbundene Inputs (Wasser, Futtermittel);
- Energieeffizienz (Elektrizität, sonstige Energieträger);
- Anforderungen an die Produktion (Flächenbedarf, „Knowhow“, Wirtschaftlichkeit und betriebswirtschaftliches Risiko);
- aus der Produktion resultierende Emissionen (in die Luft, ins Wasser) sowie

¹⁰ Entsprechend des in Abschnitt 2 beschriebenen generellen Vorgehens fokussiert die hier vorgenommene Betrachtung auf technologische Aspekte. Es ist jedoch offensichtlich, dass bei einem Ausbau der Aquakultur auch tiergesundheitliche Aspekte und Tierwohlgesichtspunkte adäquat berücksichtigt werden müssen.

- makroökonomische Relevanz der Teilsektoren (Status Quo, Entwicklungsperspektive).

Insbesondere der verstärkte Konsum von Friedfischen stellt einen wichtigen mittelbaren Ansatzpunkt dar, um den Bedarf an Fischmehl und Fischöl in der Aquakultur zu reduzieren.

Ergänzend wurde auch eingeschätzt, wie die einzelnen Teilsektoren in Hinblick auf die übergeordneten Schutzziele „Erhaltung der Biodiversität“ und „Erhaltung von Kulturlandschaften“ zu bewerten sind. Dabei fällt auf, dass alle Teilsektoren jeweils Vor- und Nachteile aufweisen und somit auch alle Teilsektoren nachhaltigkeitsrelevante Beiträge in unterschiedlichen Feldern leisten können. Im Ergebnis kann daher abgeleitet werden, dass auch für die Zukunft ein Mix aus unterschiedlichen Technologien und Prozessen anzustreben ist. Gleichwohl konnte auch gezeigt werden, dass insbesondere die Fischzucht in Kreislaufanlagen für die zukünftige Entwicklung nachhaltiger Aquakultur von großer Bedeutung sein wird.

Darüber hinaus wurden weitere Festlegungen und Annahmen getroffen, die im Zuge der Erreichung des wünschenswerten Zielzustandes bis 2050 eintreten müssen, um eine nachhaltige Aquakultur zu ermöglichen.

- Der Anteil erneuerbarer Energieträger bei der Fischproduktion in Deutschland steigt auf mindestens 95% (vgl. Studie Modell Deutschland. Klimaschutz bis 2050).
- Eine Steigerung der Input-Effizienz (Energie/Wasser) durch Weiterentwicklung der Prozesstechnik und gute landwirtschaftliche Praxis in den Teilsektoren (eigene Annahmen).
 - In Kreislaufanlagen wird dieselbe Menge Fisch mit 20% weniger Inputs (Energie/ Wasser) produziert.
 - In Teich- und Durchflussanlagen wird dieselbe Menge Fisch mit 10% weniger Inputs (Energie/ Futter) produziert.
 - In Netzkäfigen wird dieselbe Menge Fisch mit 20% weniger Inputs (Energie/ Futter) produziert.
- Für die Futtermittelbereitstellung ist eine Reduktion des Fischmehl- und Fischölbedarfs¹¹ der Aquakultur auf die artspezifisch minimal notwendigen Anteile unbedingt erforderlich (vgl. u.a. (Diana 2013; FAO 2018; OECD und FAO 2018; World Bank 2013) :
 - Auswahl entsprechend geeigneter Zielfischarten für künftige Aquakulturen
 - Substitution der essentiellen Nahrungsbestandteile durch Mikroalgen, Ölsaaten und ggf. Insektenprotein

Zur Erreichung einer höheren Eigenversorgung aus Aquakultur (s.o.) und unter Berücksichtigung der vorgenannten Kriterien und Annahmen wurde der Wachstumsbedarf der Aquakultur für die einzelnen Sektoren quantifiziert.

- Bedarf an Aquakulturproduktion in 2050 insgesamt: 133.260 Tonnen (entspricht etwa dem 5-fachen der heutigen Produktion),
 - davon in Kreislaufanlagen (Wachstums durch Zubau): 93.280 Tonnen,
 - davon in Teichwirtschaft und Durchflussequakultur (Wachstumsbedarf, v.a. durch Zubau von Durchflussanlagen und ggf. moderater Intensivierung in Teichen) der 26.650 Tonnen,

¹¹ Der Bedarf an Fischmehl- und Fischöl als Futtermittelbestandteil für die Aquakultur ist eine der häufigsten und wichtigsten Kritikpunkte, die gegen ein weiteres Wachstum der Aquakultur eingewendet werden. Die Reduktion des Fischmehl- und Fischölanteils ist daher ein notwendiges Ziel für eine nachhaltige Aquakultur. Die Reduktion soll dabei bis zum absolut notwendigen Fischmehl- und Fischölanteil erfolgen, der zur Sicherstellung der tierphysiologischen Grundbedürfnisse unbedingt erforderlich ist.

- davon Netzkäfige (Wachstum durch Zubau): 13.330 Tonnen.

Die vorgeschlagenen Wachstumsziele erscheinen insbesondere im Vergleich zu den bisher bereits verfügbaren Produktionskapazitäten herausfordernd hoch gesteckt. Während die Umsetzung im Bereich der Teichwirtschaft und Durchflus aquakultur in etwa einer Steigerung der Produktionskapazität um den Faktor 1,7 bedeutet, ergibt sich für den Sektor der Kreislaufaquakultur eine Steigerung auf etwa das 30-fache der Produktionskapazität im Jahr 2016. Es ist damit alles andere als sichergestellt, dass dieser enorme Ausbau an Fischproduktion in Kreislaufanlagen tatsächlich realisierbar ist. Hier gilt es zu berücksichtigen, dass sich die Technologie in den letzten 50 Jahren nicht aus der Produktionsnische heraus entwickelt hat. Gleichzeitig ist aber festzuhalten, dass insbesondere der Zubau mittlerer und großer Kreislaufanlagen die aktuelle Produktionskapazität von knapp 3000 Tonnen sehr schnell vergrößern kann. Eine überschlägige Berechnung zeigt, dass bei einem angenommenen Mix bei der Anlagengröße für ganz Deutschland und bis 2050 etwa 280 zusätzliche Produktionsstätten benötigt würden. Dies entspräche, bei Annahme eines gleichmäßigen Zubaus über den Betrachtungszeitraum einem jährlichen Zuwachs von etwa 8-10 Kreislaufanlagen.

Die Fischproduktion in Kreislaufanlagen ist auf die Inanspruchnahme mitunter erheblicher baulicher und weiterer lokaler Infrastrukturen angewiesen, was sie insbesondere für Produktionsstätten im urbanen und Peri-urbanen Raum interessant macht. Angesichts von mehr als 500 deutschen Städten mit einer Einwohnerzahl größer 25.000 erscheint jedoch auch der erforderliche Zubau von 280 Neuanlagen nicht unrealistisch hoch. Selbstverständlich gilt dies nur für den Fall, dass entsprechende Anlagen eine die hohen Investitionskosten rechtfertigende Wirtschaftlichkeit aufweisen.

Die Festlegung eines Mengenziels kann natürlich auch Kritik hervorrufen. So ist davon auszugehen, dass die verschiedenen Stakeholder unterschiedliche Vorstellungen von der Entwicklung der Aquakultur haben. Eine solch kontroverse Diskussion ist aus Sicht der Autoren dieser Studie nicht nur angebracht, sondern unbedingt gewünscht, um die Festlegung von Mengenzielen unter Einbezug aller relevanten Akteure in Zukunft weiter zu entwickeln. Entsprechend wurde das Vorgehen zur Abbildung der Umweltrelevanz des Aquakultur-Sektors als Ganzes so gewählt, dass zu einem späteren Zeitpunkt auch alternative Szenarien, mit entsprechend anderen Wachstumszielen dargestellt und hinsichtlich ihres Umwelteinflusses abgebildet und mit dem hier vorgeschlagenen Weg verglichen werden können.

Eine bestehende und im Rahmen des Projektes nicht vollumfänglich aufzulösende Herausforderung besteht in Hinblick auf die Quantifizierung der absoluten Umweltbelastung (Entlastung bzw. in einzelnen Teilbereichen ggf. auch Mehrbelastung), die durch eine Erhöhung der Eigenversorgungsquote in Deutschland in anderen Regionen/Erdeilen entsteht bzw. an den entsprechenden Stellen vermieden werden kann. Die Bearbeitung dieses wichtigen Aspekts konnte aufgrund der vergleichsweise komplexen Situation bei der Bewertung von Umweltbelastungen durch Importfisch in der vorliegenden Studie nicht umgesetzt werden. Es ist vorgesehen, dieser Frage in den weiteren Folgeaktivitäten vertieft nachzugehen.

Auf Basis der hier vorgestellten Überlegungen werden in Arbeitspaket 2 Szenarien zukünftiger Entwicklung der Aquakultur entworfen. Darüber hinaus werden vorwiegend qualitativ die zur Erreichung der Ziele notwendigen Entwicklungspfade skizziert.

4. Arbeitspaket 2: Szenarien künftiger Entwicklung

Im Zuge des Arbeitspakets 2 werden für die im vorangegangenen Arbeitsschritt definierten Ziele plausible Entwicklungspfade identifiziert und hinsichtlich der Bedingungen zu Ihrer Umsetzung analysiert. Sie bilden die Grundlage für die in Kapitel 6 abgeleiteten Empfehlungen.

Hierzu werden die für eine möglichst nachhaltige zukünftige Entwicklung der Aquakultur notwendigen übergeordneten Entwicklungen in den jeweiligen Teilsektoren beschrieben. Die Betrachtung fokussiert dabei auf vier inhaltlich thematische Cluster:

- Nachhaltige Bereitstellung von Futtermitteln (Kapitel 4.1)
- Weiterentwicklung geschlossener Kreislaufanlagen (RAS) zur ökonomischen Marktreife und weitere Optimierung (Kapitel 4.2)
- Entwicklung im Bereich der Teich- und Durchflusssaquakultur (Kapitel 4.3)
- Entwicklung im Bereich der Aquakultur in Netzkäfigen (Kapitel 4.4)

Für die genannten inhaltlich thematischen Cluster werden im Folgenden der aktuelle Stand bezüglich innovativer technologischer Lösungen als auch künftige Entwicklungspotenziale beschrieben. Ebenso fließen die Überlegungen, soweit dies im Rahmen der bisherigen Arbeiten bereits umsetzbar war, auch in das Simulationsmodell „AMOUNT“ (Aquakultur Monitoring Umwelt und Nachhaltigkeit) ein, mit dem die Stoff- und Energieströme der Aquakultur in Deutschland näherungsweise abgebildet werden können (Kapitel 4.5).

4.1. Nachhaltige Bereitstellung von Futtermitteln

Die Futtermittelbereitstellung stellt einen herausragend wichtigen Abschnitt der Aquakultur-Prozesskette dar. Die Bedeutung der nachhaltigen Bereitstellung von Futtermitteln für die Aquakultur sowie der Forschungs- und Entwicklungsbedarf bei Kreislaufanlagen wurde vom Öko-Institut bereits detailliert beschrieben und veröffentlicht (Möller und Antony 2015). Aus diesem Grund werden im Folgenden nur die für das grundlegende Verständnis notwendigen Aspekte nochmals aufgegriffen.

Die Auswahl der Futtermittel beeinflusst unmittelbar Wachstum, Wohlbefinden und Fortpflanzungsfähigkeit der Fische. Auch aus Nachhaltigkeitsgesichtspunkten ist die Futtermittelbereitstellung von hoher Bedeutung, da die verschiedenen Futtermittelbestandteile, v.a. Fischmehl und Fischöl, aber auch mögliche Alternativen z.T. mit erheblichen Umweltauswirkungen verbunden sind. (Möller und Antony 2015) Neben der fischphysiologischen Bedeutung und der hohen Umweltrelevanz ist die Futtermittelbereitstellung auch aus Kostengesichtspunkten besonders relevant, da sie 30-70% der Gesamtkosten der Fischzucht ausmacht (IGB, Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei o.J.).

Die gegenwärtig in der Aquakultur dominierenden Futtermittel bestehen aus gepressten Pellets, die neben Getreide v.a. Fischmehl und Fischöl enthalten. Aus ökologischer Sicht kritisch diskutiert werden insbesondere Futtersorten, deren Hauptbestandteile Fischmehl und Fischöl sind, da diese Komponenten heute noch zum überwiegenden Teil (ca. 75%) aus dem Fang von Wildfischen gewonnen werden müssen. (Möller und Antony 2015) Hierbei sollte allerdings auch beachtet werden, dass es sich bei Fischen um vergleichsweise effiziente Futtermittelverwerter handelt. So reicht bei vielen Fischarten rund ein Kilogramm Futter aus, um eine Zunahme des Körpergewichts im gleichen Umfang zu erzielen. Im Vergleich dazu werden bei anderen Zuchttieren deutlich höhere Futtermittelmengen für ein Kilogramm Gewichtszuwachs benötigt (IGB, Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei o.J.).

Fischmehltreiche Futtersorten werden vor allem bei karnivoren (d.h. fleischfressenden) Fischarten benötigt. Folglich gehört die Zucht von Garnelen, Salmoniden (v.a. Lachse) und marinen Fischarten (z.B. Dorade und Wolfsbarsch) mit jeweils über 20% des im Aquakultursektors eingesetzten Fischmehls zu den größten Fischmehlverbrauchern. Im Gegensatz dazu zeichnen sich Friedfische durch einen deutlich geringeren Fischmehlanteil im Futter aus, der beispielsweise bei Karpfen lediglich 3% beträgt (IGB, Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei o.J.). Fischöl stellt zudem einen wichtigen Bestandteil bei der Aufzucht von Lachsen und Forellen dar, wobei rund 65% des gesamten in der Aquakultur verbrauchten Fischöls für diese beiden Spezies benötigt wird (FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations 2009).

Auch wenn Fischmehl (wie auch Fischöl) überwiegend aus Fischen hergestellt wird, die kurze Generationszeiten aufweisen und für den direkten menschlichen Verzehr meist nicht oder nur in geringem Maße vermarktungsfähig sind, ist ein auf Fischmehl basierendes Futter mit einer Reihe von Nachteilen bzw. Risiken verbunden. So stehen die verwendeten Fische (wie insbesondere Sardinen) in der marinen Umwelt nicht mehr als Futter für karnivore Fische zur Verfügung (IGB, Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei o.J.b). Mittelbar ist somit bei einer nicht nachhaltigen Nutzung von Wildfischbeständen für die Tierfutterbereitstellung eine Gefährdung der Wildfischbestände insgesamt und damit des ökologischen Gleichgewichtes zu befürchten. Im Gegensatz zu Speisefischen existieren für die Bewirtschaftung der für die Fischmehl- und Fischölproduktion bestimmten Arten so gut wie keine Fangbeschränkungen, obwohl sich in den dabei verwendeten Netzen mit geringer Maschengröße auch eine große Zahl von Jungtieren anderer Arten verfängen. Vor dem Hintergrund der Tatsache, dass viele Wildfischbestände aktuell ohnehin schon überfischt sind, erscheint daher eine Verwendung von Fischen aus Wildfang als Fischfutter in der Tat als fragwürdig, insbesondere da die eingesetzte Wildfischmenge aufgrund von Verlusten bei der Verarbeitung letztendlich eine geringere Zuchtfischmenge ergibt. (Möller und Antony 2015)

In der Forschung werden bereits seit einigen Jahren mögliche Alternativen zu diesen Futtermittelbestandteilen untersucht. Im Zentrum stehen dabei pflanzliche Proteine aus Soja, Raps, Kartoffeln, Weizen bzw. Erbsen (IGB, Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei o.J.a; World Ocean Review 2013). Eine neben pflanzlichen Substituten wichtige Alternative zu Fischmehl und Fischöl sind Futtermittelbestandteile aus Mikroalgen sowie Insekten (z.B. Fliegenmaden) und Fadenwürmern (Nematoden). (Chauton et al. 2015; Hagiwara et al. 2014; Hawkyard et al. 2016; IGB, Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei o.J.a; Möller und Antony 2015). Eine industrielle Produktion ist zwar grundsätzlich möglich, existiert aber gegenwärtig noch nicht für alle genannten Alternativen. Ebenso ist festzuhalten, dass Fütterung mit alternativen Futtermitteln derzeit noch zu geringeren Überlebensraten führt als die konventionellen Futtermittel auf Fischmehl- und Fischölbasis, die als komplex formulierte Produkte exakt auf die Bedürfnisse der Zielfischart abgestimmt sind. Hier wird es im Zuge weiterer F&E-Anstrengungen darauf ankommen, die Alternativen durch entsprechende Optimierung in ihrer Effektivität und Effizienz zu verbessern und damit letztlich auch deren Umweltfreundlichkeit noch deutlich zu steigern. Ein vielversprechender Ansatz in Hinblick auf die nachhaltige Bereitstellung von Futtermitteln für die Aquakultur ist die verstärkte Nutzung bislang noch nicht vollständig für die Futtermittelproduktion genutzter „Fischnebenprodukte“ (z.B. Schlachtabfälle). (Möller und Antony 2015)

Trotz der vorhandenen Potenziale zur Substitution von Fischmehl und Fischöl bzw. dessen Herstellung aus Fischnebenproduktion wird es auf absehbare Zeit nicht möglich sein, vollständig auf Fischmehl und Fischöl aus Wildfischbeständen zu verzichten. Es wird daher darauf ankommen, den verbleibenden Bedarf aus möglichst nachhaltig bewirtschafteten Quellen zu bestreiten und hierzu in erster Linie Rohstoffe aus der jeweiligen Region zu verwenden, um lange Transportwege und in diesem Zusammenhang ggf. notwendige Stabilisatoren (z.B. Ethoxyquin) zu vermeiden. Ferner sollten Hersteller von Fischmehl und Fischöl darauf achten, die Herstellungsprozesse so

effizient und umweltfreundlich wie möglich zu gestalten. Angesichts des vergleichsweise hohen Wärmeenergiebedarfs der verwendeten Prozesse verdient daher das Energiemanagement besonderes Augenmerk, wobei insbesondere die konsequente Nutzung von Abwärme (am Produktionsstandort bzw. in dessen direkter Nachbarschaft) sowie die Verwendung erneuerbarer Energieträger geprüft werden sollte.

Angesichts der bestehenden ökologischen und ökonomischen Herausforderungen bei der nachhaltigen Bereitstellung von Futtermittel wird ersichtlich, dass aus Nachhaltigkeitsgesichtspunkten ein wichtiges übergeordnetes Ziel für die Zukunft darin bestehen muss, Fischmehl und Fischöl als derzeit z.T. noch unverzichtbare Futtermittelbestandteile sparsamer zu nutzen sowie nach und nach durch Erschließung alternativer Rohstoffquellen so weit wie möglich zu substituieren. Hierzu können auch die Verbraucherinnen und Verbraucher einen wesentlichen Beitrag leisten, indem sie vorzugsweise Zuchtfisch nicht-räuberischer Arten (wie Karpfen, Pangasius und Tilapia) konsumieren, welche ohne Fischmehl oder Fischöl gefüttert werden können (fair-fish 2015).

Insgesamt lassen sich drei wesentliche Ansatzpunkte einer nachhaltigeren Futtermittelbereitstellung ableiten:

- Weiterentwicklung von hochwertigen Proteinen und Fetten aus Pflanzen und Mikroorganismen;
- Steigerung des Anteils von Fischmehl und Fischöl aus Fischnebenprodukten;
- Verwendung von Fischmehl und Fischöl aus nachhaltig bewirtschafteten Quellen.

4.2. Kreislaufanlagen (inkl. integrierte Aquaponik-Anlagen)

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt bewegt sich die Aquakulturproduktion in Kreislaufanlagen auf einem insgesamt niedrigen Niveau – sie stellt derzeit eher einen Nischenmarkt dar. Dennoch zeichnet sich bereits in jüngerer Vergangenheit ab, dass Kreislaufanlagen bereits in naher Zukunft verstärkt in den Markt gelangen werden (vgl. 3.2.2).

Von der ersten Planung, über die konkrete Projektierung (z.B. Identifikation geeigneter Standorte) bis zur Umsetzung neuer Aquakultur-Anlagen vergehen mehrere Jahre. Für die Ableitung eines plausiblen Entwicklungspfades wird daher davon ausgegangen, dass zunächst eher kleine und mittelgroße Anlagen zugebaut werden, bevor dann mittel- bis langfristig auch in relevanter Zahl größere Kreislaufanlagen entstehen. Die durch Zubau von kleineren und mittelgroßen Anlagen realisierbaren Produktionszuwächse sind – absolut betrachtet – eher gering, oder würden eine große Zahl zugebauter Einheiten erfordern. Ein alleiniger Zubau von kleineren und mittleren Anlagen ist in Hinblick auf die Erreichung der in Arbeitspaket 1 formulierten langfristigen Ziele nicht hinreichend. Dennoch kommt auch dem Zubau kleiner und mittlerer Anlagen eine wesentliche Bedeutung für die weitere Entwicklung des Sektors zu. Dazu gehört insbesondere der Nachweis der prozesstechnischen Praktikabilität, der grundsätzlichen Genehmigungsfähigkeit sowie eines wirtschaftlichen Betriebs der Anlagen. Ferner wirkt sich die Installation kleiner und mittlerer Anlagen auch auf den erforderlichen Kapazitätsaufbau an technischem und fischwirtschaftlichem Knowhow positiv aus.

Aus den vorgenannten Gründen wird davon ausgegangen, dass sich der Zuwachs an Produktionskapazitäten zunächst eher langsam entwickelt und erst ab Mitte der 2020er Jahre stärker ansteigen wird. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass der Zuwachs zunächst eher über kleine und mittelgroße Anlagen realisiert wird, während bis zu dieser Zeit eher nur vereinzelte größere Anlagen am Markt sein werden. Gleichwohl ist festzuhalten, dass bezüglich der konkreten weiteren Entwicklung der Kreislaufaquakultur in Deutschland größere Unsicherheiten bestehen. Entsprechend bleiben wir für die Plausibilisierung der von uns getroffenen Annahmen auch nach dem Ab-

schluss des Eigenprojektes im intensiven Austausch mit Branchenexperten (Aquakultur-Forscher/innen, Consultants, Fachwissenschaftler/innen des Thünen-Instituts).

Letztlich werden jedoch weiterhin Unsicherheiten über die zukünftige Entwicklung der Aquakultur in Kreislaufanlagen bestehen. Nicht zuletzt aufgrund dieser Unsicherheiten, wurde im Rahmen des Projektes entschieden, ein rechenfähiges Simulationsmodell zu entwickeln, auf dessen Basis verschiedene Szenarien zukünftiger Entwicklung richtungssicher abgeschätzt bzw. bewertet werden können (vgl. Abschnitt 4.5).

4.2.1. Technologischer Überblick

Die technische Machbarkeit einer Fischzucht in landbasierten Kreislaufanlagen ist bereits seit mehr als drei Jahrzehnten nachgewiesen. Trotz der vorhandenen Vorteile der Kreislauf-Aquakultur kommt nach wie vor ein Großteil der Fische aus alternativen Aquakultur-Zuchtformen. Trotz technologischer Fortschritte in den vergangenen Jahren ist die Fischzucht in Kreislaufanlagen gegenwärtig zum Teil nicht wirtschaftlich. Als wesentliche Hemmnisse für einen starken Ausbau der Kreislaufaquakultur werden die hohen Betriebskosten und das nicht Erreichen der prognostizierten Produktionsleistung in der Praxis angeführt (Wedekind o. J.).

Eine wesentliche Herausforderung für den dauerhaft wirtschaftlichen Betrieb von Kreislaufanlagen, ist eine zugleich effektive und effiziente Wasseraufbereitung. Nur durch ein optimales Management verschiedener potenzieller Zielkonflikte ist es möglich, die zentralen physikalischen und chemischen Prozessparameter zu gewährleisten und auf diese Weise optimale Haltungsbedingungen für die Fische bereit zu stellen. Beispiele für potenzielle Zielkonflikte sind (vgl. auch (Möller und Antony 2015)):

- Für eine effektive Desinfektion benötigt man mitunter große Mengen an Ozon. Gleichzeitig kann die Menge an Ozon nicht beliebig gesteigert werden, da sich das eingetragene Ozon, wenn es aus dem Wasseraufbereitungskreislauf ins Fischhaltebecken gelangt, schon in geringen Mengen toxisch auf die Fische auswirken kann (Good et al. 2011; Ballagh et al. 2011; Attramadal et al. 2012).
- Im Zuge der biologischen Reinigungsstufe wird eine Nitrifikation und Denitrifikation durchgeführt, wobei potenziell toxische Stoffwechselprodukte der Besatzfische von nitrifizierenden bzw. denitrifizierenden Bakterien zunächst zu Nitrat und anschließend zu molekularem Stickstoff abgebaut werden (van Rijn et al. 2006). Während die Nitrifikation prozesstechnisch vergleichsweise gut handzuhaben ist, muss die Denitrifikation unter Sauerstoffausschluss durch anaerobe Bakterienstämme erfolgen. Eine wesentliche Herausforderung bei der Denitrifikation besteht letztlich darin, den Zielkonflikt zwischen den sich diametral unterscheidenden Anforderungen der Besatzfische und den für die Denitrifikation zuständigen Bakterienstämmen zu kontrollieren.

Im Zuge der weiteren Etablierung von Kreislaufsystemen für die Aquakultur muss auch die weitere Erforschung von (Teil-)Prozessen fortgesetzt werden, die derzeit noch technologische Herausforderungen darstellen (z.B. Denitrifikation), oder aber solche Prozesse, bei denen hinsichtlich der Betriebskosten ein großes Optimierungspotenzial vermutet wird (z.B. Desinfektion).

Entsprechend ihres Ursprungs hat das Öko-Institut eine Unterscheidung in folgende Herausforderungen in Bezug auf die Kreislauftechnik vorgeschlagen (Möller und Antony 2015):

- Herausforderungen, die von außen ins System eingetragen werden (z.B. Desinfektion des Frischwassers, Verunreinigung durch Futtermittel, Eintrag von Pathogenen auf Besatzfischen);

- Herausforderungen, die im Zuge der Kreislaufführung innerhalb des Systems entstehen (Anreicherung des Wassers mit nicht aufgenommenen Futterbestandteilen und Ausscheidungen der Fische, Veränderungen der physikalischen und chemischen Wasserparameter über die Zeit);
- Herausforderungen, die aus dem System in die Umwelt abgegeben werden. (z.B. Feststoffseparation, eutrophierend wirksame Nitrat- und Phosphatfrachten im Abwasser).

4.2.2. Handhabung von Problemen, die aus der Umwelt ins System eingetragen werden

Pathogene Bakterien und Keime gelangen entweder über die eingesetzten Fische selbst, das insbesondere in der Fischlarven- und Jungfischaufzucht erforderliche Lebendfutter oder aber auch über den Frischwasserzulauf in die Kreislaufanlage. Ebenso ist für bestimmte Prozesse, wie z.B. Nitrifikation und Denitrifikation, der Einsatz von Hilfsstoffen erforderlich. So sinkt zum Beispiel im Zuge der Nitrifikation der pH-Wert des Kreislaufwassers ab, der durch die Zugabe von Hydrogencarbonat neutralisiert werden muss. Die anaeroben denitrifizierenden Bakterienstämme sind auf die Zugabe einer externen Kohlenstoffquelle angewiesen, was je nach Wahl des Substrats negative Auswirkungen auf die Wasserqualität in der Anlage haben kann (Hamlin et al. 2008). Aus technologischer Sicht existieren die nachfolgend aufgeführten Maßnahmen zur Kontrolle von Problemen, die aus der Umwelt in das Kreislaufsystem eingetragen werden:

- Verfahren zur effektiven, zugleich aber schonenden Desinfektion besonders sensibler Entwicklungsstadien (Fischeier, frühe Larvenstadien) (Johari et al. 2015; Lahnsteiner und Kletzl 2015; Chambel et al. 2014) (Johari et al. 2015).
- Einhaltung einer Quarantänephase vor dem Einsetzen der Fische in neue Haltungsbecken.
- Kontrolle und vorbeugende Behandlung des Frischwassers mit einer Kombination von UV-Licht und/oder Ozonierung.
- Weitgehend isolierte Produktion von Lebendfutter (z.B. Artemien, Rädertierchen) zur Fischlarvenaufzucht und dadurch weitgehende Reduzierung der Gefahr einer Einschleppung von Pathogenen.

Auch bei sorgfältiger Anwendung der skizzierten Maßnahmen wird sich nicht verhindern lassen, dass für Fische pathogene Keime in das System gelangen. Somit ist eine Doppelstrategie aus der möglichst weitgehenden Begrenzung des Eintrags solcher Schadorganismen und zugleich deren effektiver Kontrolle innerhalb des Zuchtssystems unabdingbar.

4.2.3. Handhabung technischer und tierschutzrelevanter Prozessparameter innerhalb der Anlage

Innerhalb der Anlage sind sowohl die ins System eingetragenen Pathogene, als auch die Akkumulation solcher Stoffe problematisch, die sich negativ auf die Haltungsbedingungen auswirken. Krankheiten entstehen nicht *de novo* und können von diesem Standpunkt aus grundsätzlich den Problemen zugeordnet werden, die aus der Umwelt ins System eingetragen werden (vgl. Abschnitt 4.2.2). Greifen die in Abschnitt 4.2.2 genannten Maßnahmen jedoch nicht, muss die Behandlung von Krankheiten, unabhängig von der Herkunft des Erregers, innerhalb des Kreislaufs geschehen. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund, dass sich in Bezug auf die Tiergesundheit immer wieder Wechselwirkungen (z.B. stressbedingt erhöhte Anfälligkeit für Krankheiten) ergeben können, die das Immunsystem von einzelnen Organismen angreifen. Gelingt es nicht, den Keimdruck innerhalb der Anlage auf ein für die Fische verträgliches Maß zu begrenzen, führt dies letztlich zu einer höheren Anfälligkeit der Tiere gegenüber Krankheiten.

Die Eignung von Ozon zur effektiven Entfernung von toxischen Substanzen aus dem Kreislaufwasser, insbesondere die Entfernung von Ammonium, ist Gegenstand kontroverser Diskussionen (Schroeder et al. 2011). Zudem können die bei der Ozonierung entstehenden Oxidationsprodukte (OPO, s.o.) eine toxische Wirkung auf die Fische in der Anlage haben (Reiser et al. 2010). Ebenso besteht bei nicht ausreichender Separation von Feststoffen die Gefahr, dass für die Entwicklung von Pathogenen günstige Bedingungen geschaffen werden (Wold et al. 2014). Aus prozesstechnischer Sicht bestehen die nachfolgend aufgeführten Maßnahmen zur Kontrolle der Herausforderungen, die innerhalb der Anlage existieren:

- Design der Anlagen (Form, Größe und Materialien für die Fischhaltebecken, einzustellende bzw. aufrechtzuerhaltende Strömungsverhältnisse).
- Entscheidung für eine Prozesswasseraufbereitung in einem eigenen Aufbereitungskreislauf oder alternativ für ein Konzept der integrierten Prozesswasseraufbereitung im Fischhaltebecken.
- Wahl der unter gegebenen Anforderungen jeweils am besten geeigneten Verfahren zur mechanischen, biologischen und chemischen Reinigung und Aufbereitung des Prozesswassers.
- Überwachung von Stressparametern in der Anlage (z.B. Monitoring des Stresshormons Cortisol im Prozesswasser).
- Ggf. Schaffung von Zonen, die den Fischen Raum für angeborene Verhaltensmuster bieten (z.B. Ruhe- bzw. Rückzugsräume, Schwarmbildung).
- Weitgehende Automation der Prozessführung mit integriertem, gegenüber dem Ausfall von Komponenten resilientem Störfallmanagement.

4.2.4. Kontrolle von Problemen, die aus dem System in die Umwelt ausgetragen werden

Ein immanenter Vorteil der Fischzucht in landbasierten Kreislaufanlagen besteht darin, dass sich vergleichsweise gut kontrollieren lässt, welche Stoffe und Substanzen aus dem System in die Umwelt gelangen. Theoretisch kann daher ein Austrag schädlicher Stoffe weitgehend vermieden werden. Dennoch ist nicht auszuschließen, dass es im Zuge von Störungen im Produktionsablauf (z.B. notwendige Verdünnung kritischer Nitrat-N-Konzentrationen) auch bei Kreislaufanlagen zum Anfall nitratbelasteten Abwassers und damit dem Austrag eutrophierend wirksamer Stoffe kommt. Grundsätzlich bestehen zwei Möglichkeiten zur Behandlung des Abwassers. Die Klärung kann entweder direkt vor Ort in einer eigenen Kläranlage erfolgen oder aber über die Abwasserentsorgung in einer kommunalen Kläranlage (KKA). In beiden Fällen gilt, dass ggf. eine externe Zugabe von Kohlenstoff erforderlich ist, wenn die Anlage bereits stickstofflimitiert ist.

Sollte im Zuge eines künftigen Ausbaus der Fischzucht in geschlossenen Kreislaufanlagen auch die (Weiter-) Entwicklung anlagenspezifischer Standards für eine nachhaltige Fischzucht verstärkt in den Fokus rücken, wird es darauf ankommen zu prüfen, inwiefern tiergesundheitliche und Tierwohlaspekte in Kreislaufanlagen adressiert und entsprechende Herausforderungen effektiv gehandhabt werden können. Dabei gilt es, fischartenspezifisch zentrale Prozessparameter wie maximale Besatzdichten und Vorgaben zur Gestaltung der Haltebecken zu identifizieren und zugleich Vorgaben zur Kontrolle von Tierschutzaspekten (z.B. der Stresshormonkonzentrationen im Kreislaufwasser) zu entwickeln.

4.2.5. Ableitung des prioritären Forschungs- und Entwicklungsbedarfs

Grundsätzlich bestehen bei Kreislaufanlagen erhebliche Potenziale, zu einer nachhaltigen Aquakultur beizutragen, da sich die Einträge aus der Anlage in die Umwelt durch die Kreislaufführung des Wassers reduzieren lassen. Gleichzeitig steht der wirtschaftliche Betrieb einer Kreislaufanlage vor der Herausforderung des hohen spezifischen Energiebedarfs und des derzeit auch in einer geschlossenen Anlage noch erforderlichen Wasseraustausches. Bezüglich des Betriebs einer Kreislaufanlage und insbesondere bezüglich der effektiven und zugleich effizienten Aufbereitung des Prozesswassers sind weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten notwendig (Möller und Antony 2015).

Der Optimierung der Prozess- und Anlagentechnik und der Bereitstellung prozesstechnisch robuster, langfristig wirtschaftlich arbeitender und dabei den Anforderungen an den Tierschutz genügender Kreislaufsysteme kommt eine wesentliche Bedeutung bei der künftigen Entwicklung zu. Die im Zuge experimenteller Studien erfassten wesentlichen Prozessparameter (wie die Wahl der Besatzfische, die jeweils optimalen Besatzdichten sowie die Wahl des Fütterungsregimes) müssen unter alltagspraktischen Bedingungen erprobt und evaluiert werden. In Bezug auf die erforderliche Hochskalierung der Anlagentechnik gilt es, im Zuge weiterer F&E-Aktivitäten einen effizient betriebenen Wasserkreislauf mit einer optimalen Dimensionierung ggf. erforderlicher Pumpen und Netzteile sowie einer weitreichenden Automation der Anlagentechnik zu realisieren (Möller und Antony 2015).

Auch unter Tierschutzaspekten besteht weiterer Forschungsbedarf hinsichtlich einer möglichst schonenden Erhebung und kontinuierlichen Kontrolle tierschutzrelevanter Prozessparameter innerhalb einer Kreislaufanlage. Basierend auf einer entsprechend verbesserten Datengrundlage sollte es zudem ein Ziel weiterer F&E-Aktivitäten sein, artspezifische Vorgaben für eine nachhaltige Fischzucht in Kreislaufanlagen abzuleiten. Ein Beispiel hierfür ist die Echtzeit-Erhebung des Cortisolgehaltes im Fischhaltebecken, die einen Rückschluss auf den innerhalb einer Kreislaufanlage herrschenden Stresspegel erlaubt (Möller und Antony 2015).

Eine Sonderform der Kreislaufaquakultur ist die sogenannte integrierte Produktion, d.h. die gemeinsame Zucht von Fischen und Pflanzen erfolgt in einem System mit weitgehend geschlossenem Nährstoff- und Wasserkreislauf. Dabei steht die Elimination von Nährstoffen aus der Fischzucht im Vordergrund. In konventionellen Anlagen besteht eine wesentliche Herausforderung darin, unerwünschte Stoffeinträge in die Umwelt zu vermeiden. Genau an dieser Stelle setzt die integrierte Produktion an: Durch konsequentes Stoffstrommanagement sollen effektive Stoff- und Energiekreisläufe aufgebaut werden. Dabei soll nicht nur der unerwünschte Austrag von Nährstoffen mit dem Abwasser aus der Fischzucht vermieden werden; in der integrierten Produktion besteht die Zielsetzung vielmehr darin, die im Abwasser enthaltenen Nährstoffe zu separieren und diese als Wertstoffe für den Fluid-Kreislauf in geschlossenen Aquakulturkreislaufanlagen zurückzugewinnen. Letztlich werden die gewonnenen Nährstoffe zum Aufbau hochwertiger Biomasse in Form von Sekundärorganismen eingesetzt. Als Sekundärorganismen kommen hier sowohl verschiedene Algenarten als auch die Biomasseproduktion durch grüne Landpflanzen in Betracht. Zusätzlich wird das zuvor ungenutzte Abwasser für den Prozesswasserkreislauf zurückgewonnen, was sich positiv auf die tägliche Wasserbedarfsrate und die damit verbundenen umwelt- und wirtschaftlichkeitsrelevanten Aufwendungen der Aquakultur-Anlagen auswirkt. Durch den Einsatz von Aquaponik-Systemen können zusätzlich zum Nährstoffrecycling auch erhebliche Mengen an Wasser eingespart werden, da lediglich der geringe Anteil an Prozesswasser kompensiert werden muss, der durch Evaporation verloren geht. Die im Zuge der Nährstoffelimination zusätzlich gewonnene Biomasse kann entweder direkt in den trophischen Kreislauf des Systems rückgeführt oder alternativ als Sekundärprodukt weiter vermarktet werden.

4.3. Entwicklung bei Teich- und Durchflussequakulturen

Die Aquakultur in Teichen und Durchflusssanlagen trägt mit zusammen über 90% zur gegenwärtigen Aquakulturproduktion in Deutschland bei. Sie bilden damit nach wie vor das Rückgrat der deutschen Binnenfischproduktion.

Während bei Durchflusssanlagen durchaus hohe Besatzdichten zu finden sind, sind diese in Teichen vergleichsweise gering. Entsprechend fallen die Hektarerträge, also die Menge Fisch die bezogen auf einen Hektar Fläche produziert wird, vergleichsweise niedrig aus. Die naturräumlichen Gegebenheiten sollten einen weiteren Ausbau der Teichflächen in Deutschland grundsätzlich erlauben, jedoch bestehen auf Grund von natur- und gewässerschutzfachlichen Beschränkungen und weiteren Nutzungskonflikten erhebliche Zweifel, ob überhaupt neue Flächen für diese Form der Aquakultur erschlossen werden können. Die Steigerung der Produktion in Teichen wird folglich, wenn überhaupt nur durch eine moderate Intensivierung der Zucht innerhalb der bestehenden Flächen möglich sein. Gleichzeitig ist festzuhalten, dass es angesichts des Rückgangs der Zahl der Betriebe mit Aquakulturerzeugung in Teichen ohnehin zunächst darauf ankommen muss sicherzustellen, dass das bestehende Produktionsniveau nicht zurückgeht.

Für die wünschenswerte zukünftige Entwicklung dieses Teilsektors stellt also die Sicherstellung eines konstanten Produktionsniveaus ein wesentliches kurz- und mittelfristiges Ziel dar. Hierbei wird unter anderem die Sicherstellung der Wirtschaftlichkeit der Aquakulturbetriebe in diesem Teilsektor sein. Das hierzu bereits seit 2013 laufende Projekt „agri benchmark Fish“ des Thünen-Instituts, das u.a. die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Aquakulturbetriebe im europäischen und internationalen Vergleich untersucht, wird hierzu in naher Zukunft voraussichtlich weitere Hinweise liefern können. Eine mögliche Anwendung der Erkenntnisse aus diesem Projekt könnte die gezielte Förderung von Maßnahmen zur Erhaltung von Betrieben sein, die sich an oder knapp unterhalb der Wirtschaftlichkeitsgrenze befinden und die ohne entsprechende Unterstützung möglicherweise in den kommenden Jahren aufgegeben werden würden. Gerade der Erhalt der vielen kleinen Betriebe bietet eine gute Chance vor allem das praktische Wissen zur Fischproduktion in Deutschland mittel- und langfristig zu erhalten.

Der Aquakultursektor in Deutschland zeichnet sich durch große Unterschiede der Bundesländer bei der Produktionsstruktur und der Artenzusammensetzung aus. Hier ist möglichst zeitnah zu untersuchen, wie sich die bestehenden Strukturen und das föderal strukturierte Ordnungsrecht auf die Ausbildung des Aquakultursektors in einzelnen Bundesländern auswirkt, und welche Schlüsse daraus für die künftige Entwicklung der gesamtdeutschen Teich- und Durchflussequakultur in den kommenden Jahren und Jahrzehnten gezogen werden können.

Im Rahmen der Definition des wünschenswerten Zielzustandes für 2050 wurde für den Sektor der Teich- und Durchflussequakultur in etwa eine Verdopplung der Produktion gegenüber dem Jahr 2015 vorgesehen. Um diese angesichts der oben beschriebenen Herausforderungen sehr ambitionierten Ziele zu erreichen, bedarf es mittelfristig insbesondere auch technischer Innovationen (Wassermanagement, Nährstoffretention, Sauerstoffeintrag, effektive Maßnahmen zur Prädatorenabwehr) bzw. deren möglichst weitreichende Implementierung. Auch eine moderate Intensivierung in den vorhandenen Produktionsstätten, etwa durch Ausschöpfung nicht genutzter, brachliegender Produktionsflächen, müsste dabei geprüft werden.

Im Ergebnis bleibt festzuhalten, dass die Möglichkeit zum Ausbau der Produktionskapazitäten eher bei den hauptsächlich zur Forellenzucht eingesetzten Durchflusssanlagen besteht. In Teilen dieser Anlagen wird bereits heute vergleichsweise intensiv Fisch produziert. Ein weiterer Ausbau, insbesondere durch weitere Intensivierung der Zucht, muss dabei auch vor dem Hintergrund einer langfristig ausgerichteten ökologischen Optimierung der Produktionstechniken und -Anlagen erfolgen.

Demgegenüber muss der Ausbau der Produktion in Teichen und ggf. Seen (z.B. auch Netzkäfige, „Teich in See“-Systeme, in Anlehnung an den gebräuchlicheren Begriff der Pond-in-Pond-Systeme) tatsächlich als große Herausforderung gesehen werden, bei dem die für dieses Projekt berücksichtigten Mengenziele (vgl. Abschnitt 3.3) möglicherweise nicht wie wünschenswert vollumfänglich realisierbar sind.

4.4. Netzkäfige

Die Aquakultur in Netzkäfigen spielt aktuell und in absehbarer Zukunft in Deutschland kaum eine Rolle. Während in Ländern wie Norwegen ein Großteil der Aquakultur in marinen Netzkäfigen stattfindet, ist dies für Deutschland nicht zu erwarten und aufgrund der grundsätzlichen ökologischen Herausforderungen, die bei der Netzkäfigaquakultur gesehen werden, auch nicht ohne Einschränkungen wünschenswert. Bezüglich eines möglichen Ausbaus von Netzkäfigen in Deutschland ist vor allem eine Integration in bestehende Vorhaben zum Ausbau der Off-shore Windkraft aussichtsreich. Abgesehen von ersten Untersuchungen zur grundsätzlichen technischen Machbarkeit besteht hier jedoch – und absehbar auch für die kommenden Jahre – zunächst noch weiterer Forschungsbedarf. Dieser erstreckt sich dabei, neben einem verbesserten Verständnis der ökologischen Rahmenbedingung u.a. auch auf die Frage der Wirtschaftlichkeit. Hier gilt es zu untersuchen, wie sich das Verhältnis zwischen Aufwand und Ertrag zur Fütterung und Ernte auf vergleichsweise küstenfernen Produktionsstandorten darstellt. Ebenso gilt es die spezifischen Betriebsbedingungen, die sich aus einer Sektorkopplung zwischen Energieproduktion und Fischproduktion in Netzkäfigen ergeben, besser zu verstehen. In diesem Zusammenhang zu klärende Fragen sind z.B. der erforderliche Zugang zur Unterhaltung der Windkraftanlagen und dem Zugang zu den in Netzkäfigen gehaltenen Fischen. Forschungsbedarf besteht auch in Hinblick auf die Klärung von sicherheitsrelevanten Aspekten künftiger Produktionsanlagen, etwa gegenüber Sturmereignissen und Wasserfahrzeugen.

Neben dem Einsatz im Meer besteht grundsätzlich auch die Möglichkeit, in Binnengewässern Netzkäfige einzusetzen. Hier wurden in der jüngeren Vergangenheit immer wieder die Optionen zur Nutzung von Netzkäfigen im Zuge der Renaturierung von großen Tagebauflächen nach deren Stilllegung diskutiert. Dieser Ansatz ist grundsätzlich überzeugend, da dabei nicht nur die Produktionskapazität erhöht werden kann, sondern über die Nährstoffeinträge aus dem Netzkäfig auch eine beschleunigte Renaturierung der mit zunächst nährstoffarmem Oberflächenwasser gefluteten Flächen- bzw. Seenlandschaften erhofft wird. In der praktischen Umsetzung ist jedoch auch hier mit erheblichen Problemen zu rechnen. Erste hierzu vorliegende Ergebnisse aus Pilotprojekten zeigen, dass eine dauerhafte Aufrechterhaltung der Produktion als große Herausforderung angesehen werden muss. Im Zuge der Flutung entsprechender Flächen ergeben sich Wechselwirkungen zwischen Wasser und Boden, die die Haltungsbedingungen für Fische stark einschränken. Dies kann so weit gehen, dass eine Fischzucht, etwa über die starke Absenkung des Wasser-pH-Wertes, in den entsprechenden Gewässern zumindest zeitweise gar nicht möglich ist.

Insgesamt ist festzuhalten, dass die Fischzucht in Netzkäfigen in Hinblick auf eine nachhaltige Entwicklung des Aquakultursektors insbesondere aufgrund der unerwünschten Nährstoffeinträge in umgebende Umweltmedien nicht ohne Einschränkungen empfohlen werden kann.

4.5. Aufbau eines Stoffstrommodells zur zukünftigen Entwicklung der Aquakultur in Deutschland

Wie bereits eingangs erwähnt, steht eine umfassende Einschätzung oder gar valide Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit der Aquakultur in Deutschland nach wie vor aus. Wie (Sähn et al.

2017) in Ihrer Untersuchung zur grundsätzlichen Verfügbarkeit umweltrelevanter Daten zur deutschen Süßwasseraquakultur zeigen konnten, liegen Informationen, wenn überhaupt, nur verteilt auf eine Vielzahl unterschiedlicher Datenerfassungsstellen vor. Eine zentrale Erfassung aller dieser Informationen ist demnach derzeit nicht verfügbar und es ist fraglich, ob sich hier in naher Zukunft wesentliche Änderungen ergeben. Dennoch erscheint eine umfassende Bewertung der Nachhaltigkeit des deutschen Aquakultursektors bzw. dessen gezielte ökologische Optimierung wichtiger denn je. Letztlich kann eine entsprechend umfassende Bewertung auch zu einer Versachlichung der zunehmend kontrovers geführten Diskussion um die ökologischen Vor- und Nachteile der Aquakultur beitragen.

Eine umfassende Bewertung der Nachhaltigkeit der deutschen Aquakultur kann im Rahmen dieses Projekts nicht geleistet werden. Hierfür ist die verfügbare Datenbasis nicht ausreichend und es wird vermutlich noch einige Zeit in Anspruch nehmen und das Engagement vieler Akteure benötigen, um hier wesentliche Fortschritte zu erzielen. Auch der Einbezug von relevanten Akteuren aus Wissenschaft, Verwaltung und Praxis, der im Rahmen dieses Projekts nur punktuell erfolgen konnte, müsste im Zuge eines systematischen Bewertungsprojekts deutlich ausgebaut werden.

In der vorliegenden Form berücksichtigt das Stoffstrommodell zur deutschen Aquakultur bzw. Aquakulturentwicklung sowohl die Fischproduktion in Teichen und Durchflussanlagen, als auch die Fischproduktion in Kreislaufanlagen. Da entsprechend der in Abschnitt 3.3 definierten Ziele dem Zubau an Produktionskapazitäten in Kreislaufanlagen eine hohe Bedeutung zukommt, wird bislang insbesondere dieser Sektor im Simulationsmodell berücksichtigt. Während der Ist-Zustand über alle Teilsektoren abgebildet wird, musste für die Entwicklung des Prototyps zunächst vereinfachend davon ausgegangen werden, dass eine wachsende Eigenproduktion komplett durch Zubau an Kreislaufanlagen bereitgestellt wird. Im Zuge künftiger Arbeiten, ist es jedoch jederzeit möglich, auch Veränderungen in der Produktionsstruktur der übrigen Teilsektoren mit aufzunehmen und damit letztlich die Funktionalitäten des Simulationsmodells zu erweitern.

Der Zubau an Kreislaufanlagen orientiert sich an dem aktuellen Stand heute bereits verfügbarer Anlagentypen und Anlagengrößen. Die Festlegung der Anlagengrößen dient dabei in erster Linie dazu, eine Orientierung darüber zu vermitteln, wie viele Neuanlagen gebaut werden müssten, um die in Abschnitt 3.3 definierten Ziele zu erreichen. Außerdem werden für die vorliegende Untersuchung Annahmen zur Produktionseffizienz getroffen und es wird davon ausgegangen, dass die im Rahmen der Energiewende angestoßene Transformation zu einem auf erneuerbaren Energieträgern beruhenden Energiesystem erfolgreich umgesetzt wird (s. 95% EE-Anteil in DE in 2050).

Die spätere Anpassung oder aber das Hinzufügen weiterer Anlagentypen in die Modellszenarien ist durch den im Projekt gewählten Ansatz zur Erstellung eines agentenbasierten Modells in der Software AnyLogic zu jedem Zeitpunkt und damit auch über das Projektende hinaus möglich.

4.5.1. Modellentwicklung und Funktionalitäten

Das Modell „AMOUNT“ (Aquakultur Monitoring Umwelt und Nachhaltigkeit) bildet den auf Basis des jährlichen Pro-Kopf-Konsums abgeleiteten Fischbedarf, dessen Produktion in verschiedenen Teilsektoren der Aquakultur und den mit der Fischproduktion verbundenen Ressourcenverbrauch ab. Derzeit noch nicht berücksichtigt für die Zukunft, jedoch noch erweiterbar, ist der notwendige Investitionsbedarf in Neuanlagen.

Das Modell „AMOUNT“ (Aquakultur Monitoring Umwelt und Nachhaltigkeit) ist eine agentenbasierte Simulation, die in der Java-basierten Software AnyLogic implementiert wurde. Die Rolle der Agenten übernehmen die einzelnen Aquakulturproduktionsanlagen die nach Anlagentyp unter-

schiedliche Fischarten produzieren. In der gegenwärtigen Fassung der Simulation sind Teichaquakulturen (Produktion von Karpfen), Durchflussanlagen (Produktion von Forellen) und Kreislaufanlagen (Produktion eines Mix aus Dorade, Barsche/Tilapien, Pangasius, Zander, Lachsforelle, Baramundi, Arapaima) berücksichtigt. Für jede Einzelanlage wird ein sektorspezifischer Produktionstyp festgelegt.

Für den Ausbau der Produktionskapazität werden bislang lediglich Kreislaufanlagen berücksichtigt. Dies deckt sich mit der Einschätzung, wonach sich ein größerer Ausbau der Produktionskapazität in Deutschland nur auf Basis dieser Technologie realisieren lässt. Die Anlagen werden nach Größenklassen unterschieden, die sich aus der durchschnittlichen Produktionskapazität ergeben. Aktuell werden bei den für einen Ausbau der Produktion wichtigen Kreislaufanlagen die in Tabelle 4-1 dargestellten Größenklassen unterschieden.

Tabelle 4-1: Unterscheidung von KLA-Typen nach Produktionskapazität

Anlagentyp	Kapazität_min	Kapazität_max	Kapazität_Durchschnitt
klein	7.5	25	16.25
mittel	26	100	63
groß	101	600	350.5
extra groß	601	1000	800.5

Quelle: Öko-Institut

Zudem hat jede Anlage eine Produktionsstruktur, in der festgelegt wird, welche Fischarten in welchem Verhältnis in der Anlage produziert werden.

Gegenwärtig umfasst die Simulation etwas mehr als 3.600 Anlagen (Agenten), wobei innerhalb der einzelnen Teilspektoren alle Anlagen denselben „typischen Durchschnitt“ darstellen. Das heißt Unterschiede zwischen besonders effizienten und weniger effizienten Anlagen innerhalb eines Teilspektors werden derzeit noch nicht erfasst. Dies ist im Zuge der weiteren Entwicklung und Ausdifferenzierung des Modells aber vorgesehen und es wurden bereits bei der initialen Programmierung entsprechende Eingabemöglichkeiten angelegt.

Die zeitliche Auflösung der Simulation ist jährlich, d.h. für jedes Jahr wird innerhalb des Modells ein Berechnungsschritt vorgenommen. Somit ist es einerseits möglich, für jedes Jahr von 2015 bis 2050 - und darüber hinaus - den Anlagenbestand und die Produktionsstruktur zu erfassen und die mit der Aquakulturproduktion einhergehende Ressourcenverbräuche und resultierende Emissionen darzustellen.

Die für die Simulation notwendigen Eingangsdaten werden, ebenso wie die Ausgabe der berechneten Ergebniswerte (z.B. Zahl der Anlagen im Bestand, Futtermittelbedarf pro Jahr, Energiebedarf) über Excel-Dateien bereitgestellt. Hierzu wurde je eine Input-Datei und eine Output-Datei angelegt. Dieses Vorgehen erlaubt es perspektivisch verschiedene Szenarien auch ohne Anpassung des der Simulation zugrundeliegenden Modellcodes berechnen zu können, da alle Parameter und Daten benutzerfreundlich in Excel definiert werden können.

Neben sogenannten global fixierten Daten, (z.B. der wünschenswerte Pro-Kopf-Konsum von 10 kg) werden auch zeitlich variable Parameter (z.B. Anteil der Eigenproduktion aus Aquakultur am Gesamt-Konsum in Deutschland) berücksichtigt. Zeitlich variable Parameter, wie etwa die zuneh-

mende Eigenversorgungsquote, werden auf der Eingabeseite über beliebig viele Zeit-Wert-Paare definiert.

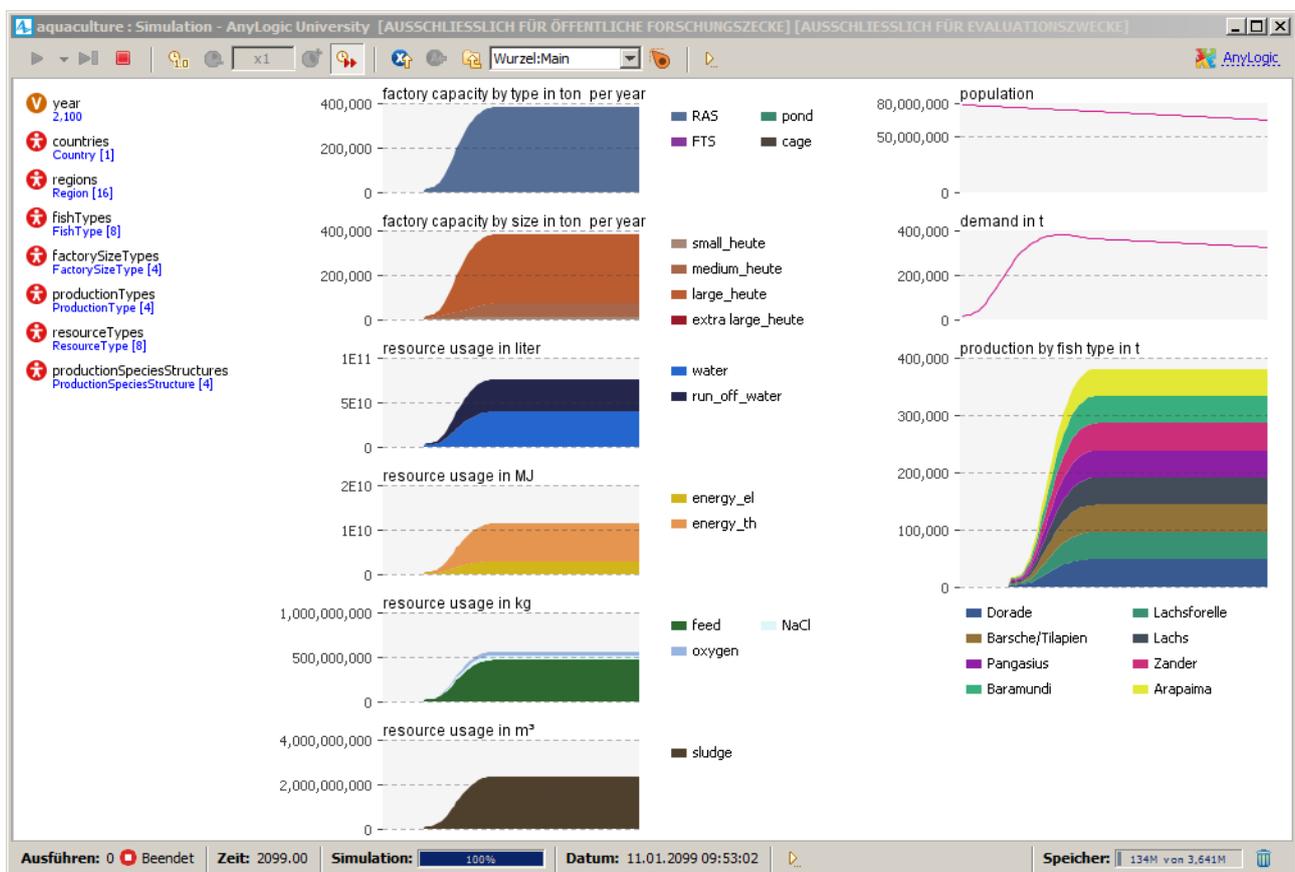
Der Fischkonsum pro Kopf und Jahr ist in der vorliegenden Simulation eine länderspezifische exogene Konstante. Das Modell unterscheidet dabei zwei Ebenen der Regionalisierung, wobei die kleinsten Einheiten unspezifische Regionen, die z.B. als Bundesländer, Landkreise etc., beliebig modelliert werden können. Für die Berechnung werden die einzelnen Regionen zu Ländern (im Moment nur Deutschland) zusammengefasst.

Ebenso wie der Fischkonsum wird auch die Bevölkerungsentwicklung für die verschiedenen Regionen (Bundesländer) innerhalb Deutschlands als exogener Pfad vordefiniert. Auch der angestrebte bzw. anzustrebende Anteil der Eigenproduktion am Fischkonsum wird pro Land als exogener Pfad vordefiniert.

In der vorliegenden Simulation ist der Ressourcenverbrauch somit abhängig vom Produktionstyp (Kreislaufanlage, Teich, Durchflussanlage), von den darin produzierten Fischarten und der Größenklasse der Anlage.

Um eine einfache und direkte Plausibilitätsprüfung durchführen zu können, werden wichtige Kennzahlen (z.B. Produktionsmenge nach Technologie und Fischart, Ressourcenbedarf) während des Berechnungslaufs direkt im Modell visualisiert (vgl. Abbildung 4-1). Alle Daten stehen aber auch für weitere Auswertungen in der Ausgabedatei in Excel zur Verfügung.

Abbildung 4-1: Ansicht des Hauptfensters zur Simulation künftiger Aquakulturentwicklung in Deutschland



Quelle: eigene Darstellung

Die Simulation beginnt mit dem Einlesen der zu verarbeitenden Daten aus der Excel-Datei. Darauf folgt die Initialisierung des Startzustandes. Für jedes neue Berechnungsjahr durchläuft die Simulation die folgenden vier Schritte:

- Berechnung des Bedarfs (als Funktion des Gesamtbedarfs und des Eigenversorgungsgrads)
- Notwendiger Zubau von Anlagen zur Deckung des Bedarfs, entsprechend des gewählten Zubau-Algorithmus
- Produktion von Fischen innerhalb eines Jahres, auf Basis der verfügbaren Produktionskapazitäten
- Abschließende Berechnung des mit der Jahresproduktion verbundenen Ressourcenverbrauchs bzw. der aus der Produktion resultierenden Emissionen (aktuell nur Abwasser).

Nach erfolgreichem Durchlauf der Simulation werden die Berechnungsergebnisse automatisiert in eine Excel-Datei ausgegeben, wo sie für eine weitere Aufbereitung der Ergebnisse und zur Berechnung der produktionsbedingten Umweltauswirkungen zur Verfügung stehen.

5. Interpretation der Ergebnisse und Erkenntnisse des Projektes

Die dieser Studie zugrunde liegende Analyse umfasst zwei wesentliche Schritte. Zum einen ist dies der Versuch, einen aus ökologischer Sicht wünschenswerten Zielzustand der deutschen Aquakultur im Jahr 2050 zu konkretisieren. Zum anderen wurden Ansatzpunkte für Zukunftsszenarien identifiziert, mit denen dieser Zielzustand erreicht werden kann.

Im Zuge der Projektbearbeitung wurde ein wünschenswerter Zielzustand definiert, der sowohl einen absolut reduzierten Pro-Kopf-Fischkonsum (von derzeit 14 kg auf 10 kg) berücksichtigt, zugleich aber auch einen zukünftig höheren Anteil von Fisch aus heimischer Aquakultur vorsieht. Die Erhöhung der Eigenversorgungsquote geht explizit nicht mit einem Anstieg der Erträge aus der marinen Fangfischerei einher. Ebenso wurde gezeigt, die Fischzucht in Kreislaufanlagen eine zunehmend wichtige Rolle spielt.

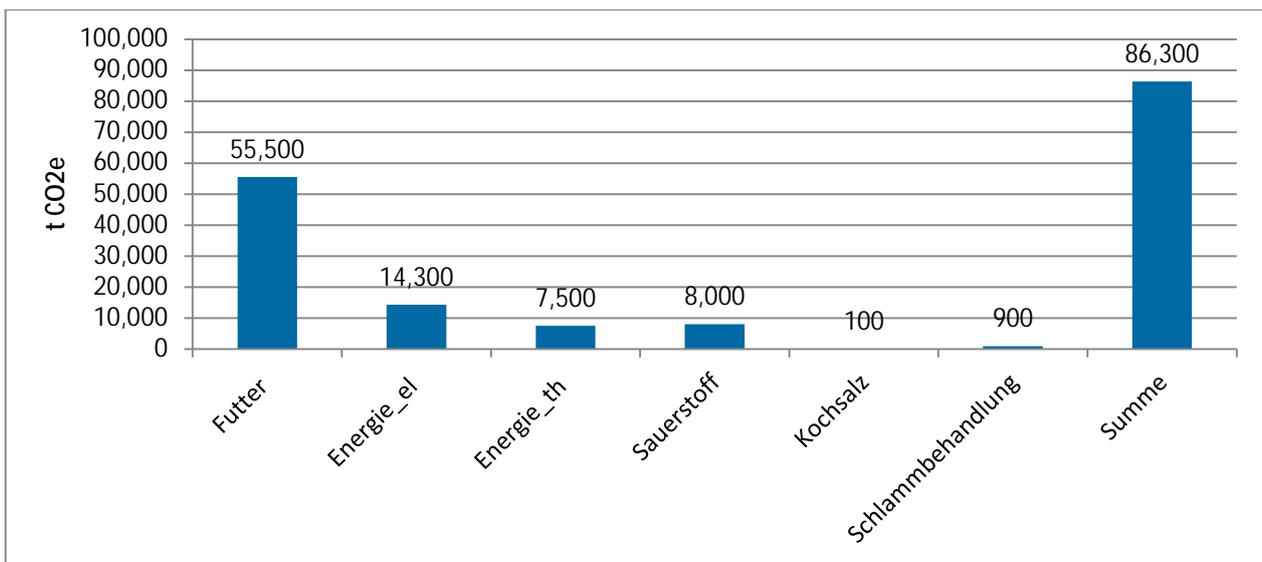
Die Festlegung ökologisch wünschenswerter, absoluter Wachstumsziele ist durchaus komplex und auf Basis der vorliegenden Daten und Informationen derzeit nur orientierend möglich. Die im Rahmen dieses Projekts vorgeschlagenen Wachstumsziele sollen daher eher als Ausgangspunkt für eine in naher Zukunft verstärkt zu führende konstruktive Diskussion dienen. Im Rahmen künftiger Untersuchungen und im weiter verstärkten Austausch mit Branchenexperten und -expertinnen ist explizit vorgesehen, die hier gewählten Ziele kritisch zu prüfen und, wo erforderlich, weiter zu entwickeln. Hierbei gilt es insbesondere die aktuelle wirtschaftliche Situation der Aquakulturbetriebe in Deutschland, wie sie etwa im Rahmen des agri benchmark Fish-Projekts des Thünen-Instituts untersucht wird (vgl. Lasner et al. 2017), deutlich stärker als bislang in die Betrachtung mit einzubeziehen.

Im Zuge der Bearbeitung von AP2 konnten ebenfalls Ansatzpunkte für die Entwicklung von Zukunftsszenarien aufgezeigt werden. Hierbei wurde ein starker Fokus auf die in den Teilsektoren erforderlichen Prozesse, F&E-Aktivitäten und wichtige Rahmenbedingungen gelegt. In der nun vorliegenden Form, stellen diese, auch angesichts im Projekt identifizierter Wissenslücken, noch keine durchgehend konsistenten Entwicklungspfade im engeren Sinne dar. Auf Basis aktuell vorhandener Informationen ist es daher nur orientierend möglich, plausible Zeitkorridore festzulegen und/oder solche Zeitpunkte konkret zu benennen, zu denen bestimmte Entwicklungsschritte voll-

zogen sein müssen. Wesentliches Ergebnis dieses Analyseschrittes ist die Erkenntnis, dass die zeitnahe Etablierung eines systematischen Umweltmonitorings der deutschen Aquakultur in dieser Hinsicht notwendig ist. Angesichts dieser im Projektverlauf bestätigten Hypothese wurde entschieden, die notwendigen Vorbedingungen zur Entwicklung konsistenter Zukunftsszenarien zu identifizieren. Nicht zuletzt deshalb wurde im Rahmen des Projektes auch stärker als zunächst geplant die Entwicklung eines Simulations-Prototypen zur Szenariomodellierung vorangetrieben. Dabei stand vor allem im Vordergrund, die notwendigen Funktionalitäten eines solchen Werkzeugs zu benennen und an welchen Stellen die hierzu notwendige Datengrundlage verbessert werden muss.

Auch wenn es sich bei dem entwickelten Simulationsmodell „AMOUNT“ (Aquakultur Monitoring Umwelt und Nachhaltigkeit) also um einen ersten Prototypen handelt, konnten damit bereits erste Hypothesen geprüft, orientierende Szenarien gerechnet und erste Erkenntnisse abgeleitet werden. Auch wenn die Ergebnisse noch als vorläufig anzusehen sind, sollen hier doch bereits exemplarisch wesentliche Ergebnisse vorgestellt. So können beispielsweise erstmalig die Umweltauswirkungen der Aquakultur in Deutschland sektorspezifisch und in der Gesamtschau aller relevanten Teilsektoren abgebildet werden (vgl. die Darstellung der Beiträge zum Treibhausgaspotenzial in Abbildung 5-1)

Abbildung 5-1: Beiträge zum Treibhausgaspotenzial der deutschen Aquakulturproduktion im Jahr 2015



Quelle: Öko-Institut

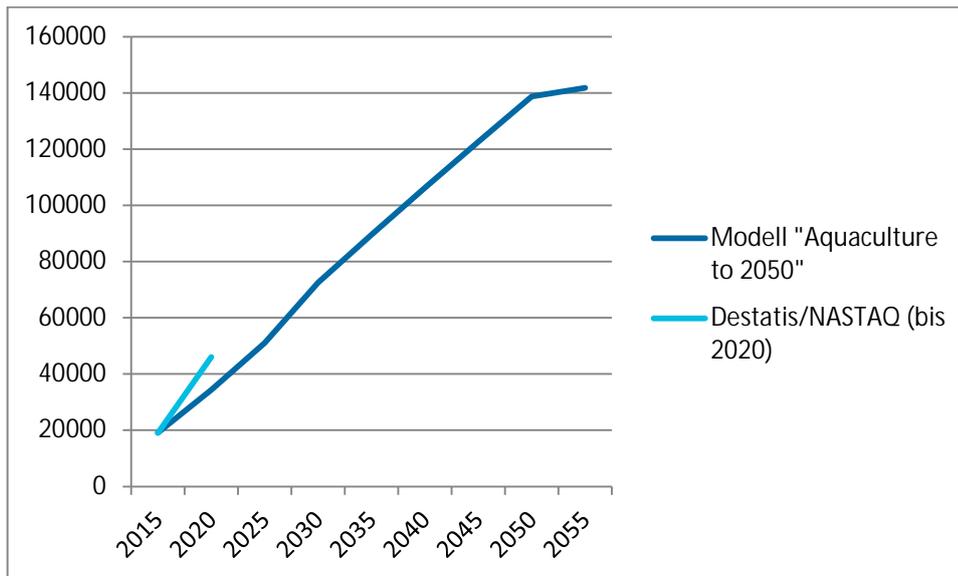
Betrachtet man beispielsweise die in Abbildung 5-1 dargestellten Treibhausgasemissionen der deutschen Aquakulturproduktion von 86.000 t CO₂e, entspricht dies in etwa einem CO₂-Fußabdruck von 3 - 6 kg CO₂e pro kg Fisch. Damit liegt die Fischproduktion in etwa im Bereich der Geflügelzucht und ist unter Klimaschutzgesichtspunkten deutlich vorteilhaft gegenüber der Schweine- und insbesondere der Rinderzucht. Der Ausstoß von Treibhausgasen durch Aquakultur trägt zudem nur mit etwa 0,1% zu den Gesamtreibhausgasemissionen der landwirtschaftlichen Produktion in Deutschland bei, die sich auf etwa 67 Mio. t CO₂e summieren.

Auffällig ist der große Beitrag aus der Bereitstellung des notwendigen Futtermittels, der einen Anteil von deutlich über 60% ausmacht. Wie eine vertiefende Analyse der Einzelbeiträge der Futtermittelkomponenten zeigt, sind hier insbesondere die Bereitstellung der wichtigen Futtermittelbe-

standteile Fischmehl und Fischöl bzw. die für deren Fang wichtigen Treibstoffe, die wesentlichen Treiber. Die Beiträge aus der Bereitstellung der notwendigen thermischen und elektrischen Energie haben einen Anteil von knapp über 25%, wobei hier vor allem Stromverbräuche relevant sind.

Als Ergebnisse der Simulation bildet das Modell die Entwicklung des Produktionsvolumens sowie die mit der jeweiligen Jahresproduktion verbundenen Ressourcen- und Energieverbräuche ab (vgl. Abbildung 5-2).

Abbildung 5-2: Simulation der Entwicklung des Produktionsvolumens deutscher Aquakulturbetriebe (nur Fische)



Quelle: Öko-Institut

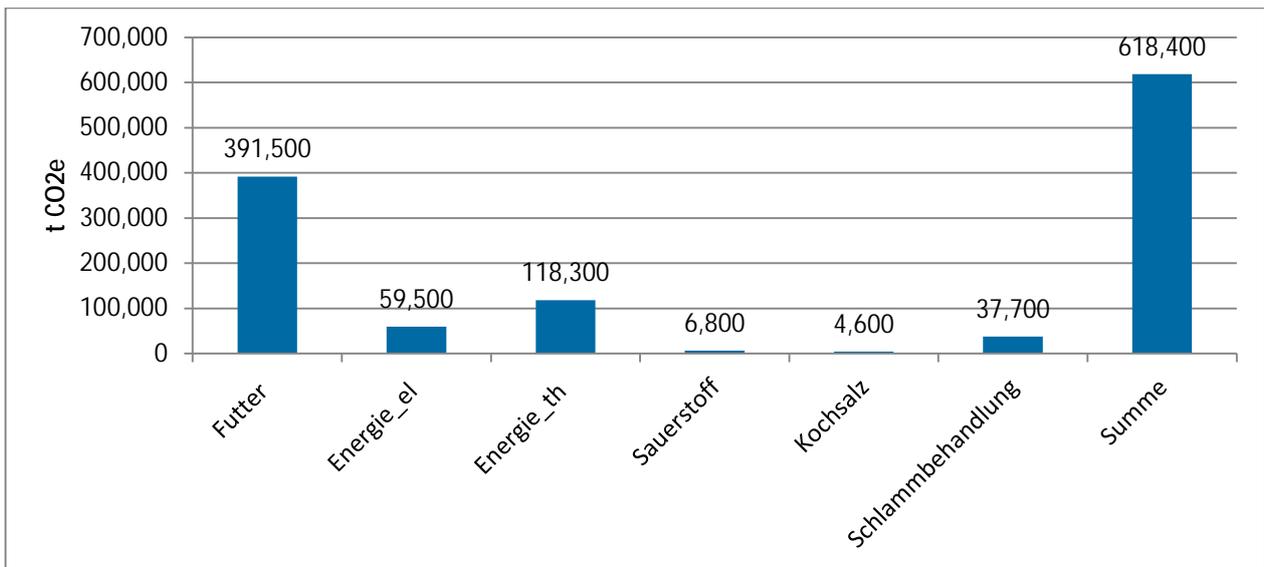
Wie Abbildung 5-2 zeigt, steigt das Produktionsvolumen zunächst langsam, ab etwa dem Jahr 2030 dann deutlich an. Ab 2045 verlangsamt sich das Wachstum wieder leicht. Insgesamt bildet das Modell jedoch ein stetiges Wachstum des Produktionsvolumens ab. Zur Orientierung ebenfalls eingetragen sind die bis 2020 im Rahmen des Nationalen Strategieplan Aquakultur (NASTAQ) auf Basis desselben Ausgangswertes formulierten Wachstumsziele (hellblaue Linie). Im Vergleich ergibt sich für die Simulation im Modell „AMOUNT“ (Aquakultur Monitoring Umwelt und Nachhaltigkeit) zunächst ein moderaterer, d.h. langsamerer Ausbau der Produktionskapazitäten als beim NASTAQ anvisiert. Damit wird der Annahme Rechnung getragen, dass insbesondere im Bereich der Kreislaufanlagen kurz- bis mittelfristig noch einige Herausforderungen bestehen, die einen deutlichen Ausbau des Produktionsvolumens zunächst hemmen. Hierbei ist berücksichtigt, dass von der ersten Planung bis zur Inbetriebnahme einer Anlage mehrere Monate bis Jahre vergehen können. Hinzu kommt, dass die Anlagen über einen gewissen Zeitraum laufen müssen, bis die Fische zur Marktreife gewachsen sind. Außerdem ist davon auszugehen, dass die Anlagen nach Inbetriebnahme zunächst „eingefahren“ werden müssen und erst etwa 1 – 2 Jahre nach Inbetriebnahme ihre volle Produktionskapazität erreichen.

Auch angesichts des gegenüber dem im NASTAQ bis 2020 vorgeschlagenen Wachstumszielen moderaten Wachstums zeigt Abbildung 5-4 dennoch auch, dass eine signifikante Steigerung der Eigenversorgungsquote mit Fisch aus deutscher Aquakultur einen erheblichen Ausbau der Produktionskapazitäten im Betrachtungszeitraum bis 2050 erforderlich macht. Die Erhöhung der als wünschenswerter Zielzustand definierten Eigenversorgungsquote führt, auch bei Berücksichtigung

eines deutlich reduzierten Fischkonsums von nur noch 10 kg Pro Kopf und Jahr zu einer Versiebenfachung der Aquakulturproduktion.

Die Ergebnisse der Simulation erlauben auch eine orientierende Darstellung der Umweltauswirkungen der deutschen Aquakultur im Jahr 2050. In Abbildung 5-3 sind die Beiträge zum Treibhausgaspotenzial dargestellt.

Abbildung 5-3: Beiträge zum Treibhausgaspotenzial der deutschen Aquakulturproduktion im Jahr 2050



Quelle: Öko-Institut

Wie Abbildung 5-3 zeigt, könnten die absoluten Treibhausgasemissionen der deutschen Aquakulturproduktion im Jahr 2050 auf etwa 620.000 t CO₂e pro Jahr ansteigen, wenn sich bis dahin ein entsprechend der Annahmen wachsender Zubau an Produktionskapazität auf knapp 140.000 Jahrestonnen realisieren lässt. Verglichen mit den Gesamtreibhausgasemissionen der landwirtschaftlichen Produktion in Deutschland für das Jahr 2015 entspräche dies noch immer einem Anteil von unter 1%.

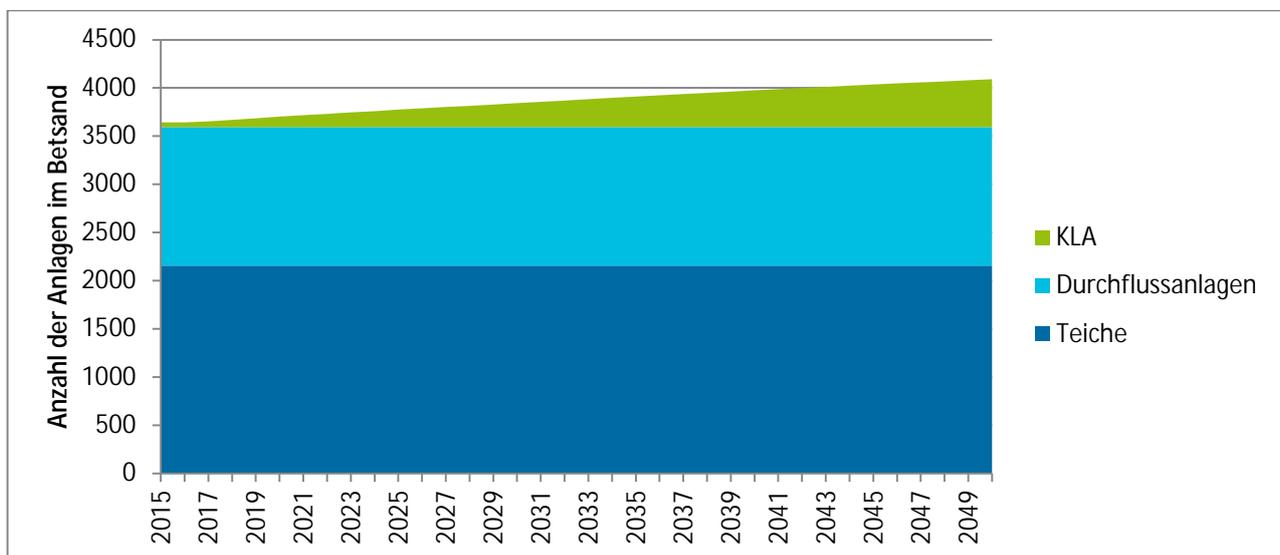
Bemerkenswert ist, dass sich der CO₂-Fußabdruck pro kg Fisch nur unwesentlich ändert. Dies mag zunächst überraschen, da doch der Anteil an energieintensiven Kreislaufanlagen nun anders als im Jahr 2015 die Produktion dominiert. Betrachtet man nur den kumulierten Energiebedarf, so zeigt sich dies in einem entsprechenden Anstieg. Dies gilt jedoch nicht in gleicher Weise auch für die Treibhausgasemissionen. Hier wirkt sich stark aus, dass für die Modellierung der Bereitstellung der erforderlichen elektrischen Energie zum Betrieb der Anlagen und zur Herstellung der Futtermittel weitgehend erneuerbare Energieträger eingesetzt werden. Im Umkehrschluss kann also festgestellt werden, dass durch eine konsequent umgesetzte Energiewende auch der Nachteil der höheren spezifischen CO₂-Emissionen von Fisch aus Kreislaufanlagen weitgehend kompensiert.

Auch im Jahr 2050 stellt die Futtermittelbereitstellung den wichtigsten Teilbereich der Aquakulturprozesskette dar. Betrachtet man die Beiträge zum Treibhausgaspotenzial, entfallen nach wie vor knapp 60% der Emissionen auf die Futtermittelbereitstellung. Hier ist jedoch anzumerken, dass die mögliche und wünschenswerte Re-Formulierung der Futtermittel und insbesondere die Substitution von Fischmehl und Fischöl durch Alternativen, in der vorliegenden Simulation nicht berücksichtigt

werden konnten. Die konsequente Substitution dieser wichtigen Formulierungsbestandteile durch geeignete Alternativen stellt, neben der grundsätzlichen Frage der stark begrenzten Verfügbarkeit dieser Ressourcen, in jedem Fall auch einen vielversprechenden Ansatzpunkt für anwendungsnahe F&E-Projekte zur Futtermittelherstellung an. Die Simulation kann zeigen, dass hier auch in Bezug auf die mit der Futtermittelbereitstellung verbundenen CO₂-Emissionen ein großer und vielversprechender Hebel für künftige Optimierungen besteht. Wenn diese erfolgreich umgesetzt werden können, könnte auch der CO₂-Fußabdruck eines Fisches aus deutscher Aquakultur im Jahr 2050 unter dem Wert für 2015 liegen – und das, obwohl dieser Fisch zum überwiegenden Teil in Kreislaufanlagen produziert wird.

Basierend auf der Ermittlung der jährlichen Aquakulturproduktionskapazität ist es darüber hinaus möglich einzuschätzen, wie viele Anlagen der verschiedenen Anlagentypen benötigt werden, um den wachsenden Bedarf an Fisch aus deutscher Aquakultur zu decken.

Abbildung 5-4: Entwicklung der Zahl der Anlagen im Zeitraum von 2015 bis 2050



Quelle: Öko-Institut

Das Simulationsmodell ist grundsätzlich in der Lage, auch die Anzahl der erforderlichen Anlagen zu berechnen (vgl. Abbildung 5-4), jedoch müsste hierzu zunächst ein sinnvoller Ausbualgorithmus bzw. die hierfür relevanten Parameter (Standortfaktoren, Verfügbarkeit von finanziellen und fachlichen Kapazitäten, Nachfrage) konkret definiert werden. Dazu ist vorgesehen, im Zuge der Diskussion der Ergebnisse mit Fischereifachexperten und -expertinnen belastbare Ansatzpunkte zu identifizieren. In der vorliegenden Form berechnet das Modell lediglich die Nachfrage und deckt diese, indem in einzelnen Regionen solange Anlagen gebaut werden, bis die Nachfrage gedeckt ist. In diesem Zusammenhang ist folgendes Rechenbeispiel interessant: Eine Region hat eine Nachfrage von 1200 t Fisch. Entsprechend wird zunächst eine sehr große Anlage mit 800 t Jahresproduktion gebaut. Darauf folgen eine große Anlage (300 t) und eine mittelgroße Anlage mit 63 t Jahresproduktion. Der verbleibende Rest wird dann durch zwei weitere kleine Anlagen mit je 16,25 t Jahresproduktion bereitgestellt. Für die danach noch verbleibenden 3,5 t wird in der Simulation zunächst keine Neuanlage zugebaut. Die Nachfrage übersteigt also das Angebot punktuell. Grundsätzlich könnte dies zu einer ungünstigen Verschiebung des Anlagenmix hin zu einer Vielzahl großer Anlagen begünstigen. Hier wirkt jedoch entgegen, dass die wünschenswerte Eigenversorgungsquote nicht sprunghaft ansteigt, sondern allmählich zunimmt. Die Nachfrage steigt innerhalb eines Jahres also nur in bevölkerungsreichen Regionen (z.B. die Stadtstaaten Berlin,

Hamburg) derart stark an, dass vom Berechnungsalgorithmus große Anlagen zugebaut werden. Eine bereits vor der rechnerischen Simulation durchgeführte händische Abschätzung der erforderlichen Anlagen, unter Berücksichtigung der generellen Überlegung, dass zunächst nur kleine und erst ab etwa 2030 auch größere Anlagen zugebaut werden, ergab erstaunlicherweise eine nahezu deckungsgleiche Anzahl erforderlicher Neuanlagen.

In einem weiteren, an das grundlegende Vorgehen der ökobilanziellen Bewertung angelehnten Untersuchungsschritt werden daraus die potenziellen Umweltwirkungen berechnet, die mit der jährlichen Aquakulturproduktion in Deutschland jeweils verbunden sind. So wird beispielsweise die Umweltbelastung ermittelt, die sich aus dem Energiebedarf für den Betrieb der Kreislaufanlagen ergibt. Ähnlich wurde auch mit den übrigen relevanten Ressourcen, wie Brennstoffe, Wasser, Sauerstoff und Abwasserbehandlung, verfahren. Für die Bereitstellung des erforderlichen Futtermittels konnte auf eigene ökobilanzielle Untersuchungen aus dem Projekt von Möller et al. 2015 zurückgegriffen werden. Hier wurde auf Basis einer generischen Rezeptur ein Futtermittel mit mittlerem bis hohem Proteingehalt bereits modelliert. Vereinfachend wurde davon ausgegangen, dass mit diesem Futtermittel alle relevanten Fischarten ernährt werden können, obwohl in der Praxis fischartenspezifische Futtermittel eingesetzt werden. Es wird hier jedoch zunächst davon ausgegangen, dass die Annahme eines Futtermittels mit mittlerem Proteingehalt zumindest eine grobe Abschätzung der realen Situation erlaubt. Aufgrund der hohen Relevanz, die der Futtermittelbereitstellung zum Beispiel in Bezug auf die Treibhausgasemissionen pro kg Fisch zukommt, ist hier eine weitere Differenzierung der Datenbasis dringend erforderlich. Hier sollte in künftigen Projekten und idealerweise spezifisch für alle relevanten Fischarten detaillierte ökobilanzielle Untersuchungen zu Futtermitteln durchgeführt werden. Letztlich ließe sich auf dieser Basis auch noch deutlicher darstellen, wie die verschiedenen Fischarten in Bezug auf die ökologischen Folgen ihrer Produktion im Vergleich zu bewerten sind.

Die weitere Ausweitung der Datenbasis muss wesentliches Ziel weiterer Entwicklungsarbeiten am Modell „AMOUNT“ (Aquakultur Monitoring Umwelt und Nachhaltigkeit) sein. Dies gilt insbesondere beim Karpfen, der über den gesamten Betrachtungszeitraum wichtig ist, jedoch insbesondere in den kommenden Jahren und noch bis etwa ins Jahr 2030 eine hohe Relevanz haben wird. Erst danach ist der Simulation nach davon auszugehen, dass durch den verstärkten Ausbau der Kreislaufanlagen andere Fischarten bedeutender sind. Entsprechend der wachsenden Relevanz dieser Arten müssen auch für diese Fischarten für die Zukunft fischartenspezifische Prozessparameter, ermittelt und in das bestehende Simulationsmodell integriert werden. Die hierzu erforderliche Differenzierung des Modells konnte im hier zur Verfügung stehenden Rahmen und, insbesondere da entsprechende Anlagen teilweise noch gar nicht existieren, noch nicht durchgeführt werden. Eine entsprechende Datenerhebung für relevante Arten wie Zander, Tilapia und Wels könnten, da hier schon Anlagen bestehen, bereits zeitnah in Angriff genommen werden. Eine Ergänzung des Simulationsmodells um fischartenspezifische Prozessparameter dieser drei Fischarten würde bereits eine erheblich verbesserte Aussagekraft ermöglichen. Eine Differenzierung in Hinblick auf die Produktionseffizienz der unterschiedlichen Anlagen sollte bei der Weiterentwicklung des Modells berücksichtigt werden.

Auf die hohe Bedeutung, die bei der ökobilanziellen Bewertung der deutschen Aquakultur der Futtermittelbereitstellung zukommt, sollte parallel dazu insbesondere auch die Bereitstellung des erforderlichen Futtermittels in den Fokus weiterer Arbeiten gerückt und vertieft untersucht werden. Inwiefern hier für alle relevante Fischarten Einzeluntersuchungen erforderlich sind oder aber vielleicht auch lediglich eine Unterscheidung in wenig, mittel und hoch aufwändige Futtermittel ausreichend ist, könnte vorab unter Einbezug entsprechender Futtermittelexperten und -expertinnen diskutiert werden. Die bestehenden Ökobilanzmodelle zur Futtermittelbereitstellung wären in jedem Fall geeignet, entsprechend weiterentwickelt zu werden.

Neben einer grundlegenden Aktualisierung und Erweiterung der Datenbasis bestehen auch in Hinblick auf die Simulationsmethodik für die Zukunft noch kleinere Anpassungsbedarfe. Wie bereits weiter oben angedeutet, betrifft dies insbesondere die Zubaulogik, nach der im Modell neue Anlagen gebaut werden. Hier gilt es z.B. in Zukunft auch die Potenziale zum Ausbau der Aquakultur in Durchflussanlagen und Teichen abzubilden. Dazu sollten für die Zukunft detailliertere Standortfaktoren, wie die Verfügbarkeit geeigneter Flächen, und wirtschaftliche Aspekte, wie zum Beispiel die Möglichkeit zur synergetischen Nutzung von industriellen Abwärmequellen und bereits vorhandener Infrastruktur zur Bereitstellung von Wasser, einbezogen werden

Eine methodische Unschärfe, die im vorliegenden Modell noch nicht zufriedenstellend aufgelöst werden kann, ist die Tatsache, dass der Konsum bislang noch unspezifisch bezüglich der zu produzierenden Fischarten ist. Hauptgrund hierfür ist, neben grundsätzlichen Unsicherheiten zur zukünftigen Entwicklung des Fischarten-Mix, auch eine teilweise unvollständige Datengrundlage bezüglich der fischartenspezifischen Prozessparameter. Hier besteht für die zukünftige Weiterentwicklung des Modells noch Anpassungsbedarf. Grundsätzlich ist im Modellcode eine entsprechende Differenzierung jedoch bereits mitgedacht und es sind entsprechende Modifikationsmöglichkeiten zur späteren Umsetzung angelegt.

Bislang beschränkt sich das Simulationsmodell „AMOUNT“ (Aquakultur Monitoring Umwelt und Nachhaltigkeit) auf den deutschen Raum. Dies entspricht dem geplanten Vorgehen im Eigenprojekt. Wünschenswert wäre hier jedoch ebenso, nicht zuletzt vor dem Hintergrund des Single Market Prinzips innerhalb der Europäischen Union, eine schrittweise Erweiterung des Ansatzes auf den europäischen Aquakultursektor. Auch auf europäischer Ebene bzw. in den einzelnen Mitgliedsstaaten ist uns bislang kein vergleichbarer Ansatz zur Modellierung und Prognose der weiteren Entwicklung der Aquakultur inklusive einer ökologischen Einschätzung dieser Entwicklung bekannt. Daher ist davon auszugehen, dass die Weiterentwicklung des bestehenden Modells auch auf europäischer und gegebenenfalls internationaler Ebene gelingen kann.

In der vorliegenden Form ist das Simulationsmodell „AMOUNT“ (Aquakultur Monitoring Umwelt und Nachhaltigkeit) bereits eine wertvolle Ergänzung zu den bestehenden Informationen aus der amtlichen Statistik oder aber zu eher auf wirtschaftliche Aspekte fokussierenden Fortschrittsberichten, wie zum Beispiel dem Jahresbericht der deutschen Binnenaquakultur. Einer Veröffentlichung der Ergebnisse inklusive der diesen zugrundeliegenden Berechnungsmethoden und Annahmen steht daher grundsätzlich nichts im Wege.

Das hier gewählte methodische Verfahren stellt für den Aquakultur-Sektor eine grundsätzlich neue Herangehensweise dar, die bislang nicht verfügbare Perspektiven auf ein bereits seit langem bearbeitetes Thema ermöglicht. Dennoch bestehen aktuell noch Restriktionen im Bereich der Datenbasis. Um zu vermeiden, dass daraus eine möglicherweise vorschnelle Pauschalkritik am gesamten Ansatz resultiert, wurde jedoch entschieden, den Ansatz zunächst mit anerkannten bzw. führenden Fachexperten und -expertinnen zu diskutieren und diese zum Dialog einzuladen. Ziel muss es daher sein, die Akteure zu motivieren, zur weiteren Verbesserung des Simulationsmodells beizutragen und dessen Weiterentwicklung konstruktiv kritisch zu begleiten. Geeignete Experten wurden hierzu in den zurückliegenden Monaten bereits angefragt und es kann festgestellt werden, dass großes Interesse besteht, die Ergebnisse zu diskutieren. Dies zeigte sich nicht zuletzt dadurch, dass die Vorstellung des Ansatzes und die Erläuterung der Ziele des Projektes bereits einige Akteure motivierte, ihnen verfügbare Daten für die Simulation zur Verfügung zu stellen. Hier zu nennen sind Daten zu Erhebungen über die Forellenproduktion aus dem agri benchmark Fish-Projekt sowie die angekündigte Verfügbarmachung zu vergleichbaren Daten zur Karpfenproduktion im August 2017. Daher sollen die Ergebnisse, insbesondere mit den Akteuren, die schon bereit waren, Daten verfügbar zu machen, diskutiert werden. Zudem handelt sich hierbei um teilweise

bisher unveröffentlichte Daten, bei denen die jeweiligen Akteure ein eigenes Verwertungsinteresse haben, etwa in Form wissenschaftlicher Publikationen.

In einem zweiten Schritt zur Dissemination der Ergebnisse ist vorgesehen, diese, gemeinsam mit den bereits involvierten Partnern, an den zuständigen Stellen im BMEL bzw. der BLE und dem BMZ vorzustellen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das Simulationsmodell „AMOUNT“ (Aquakultur Monitoring Umwelt und Nachhaltigkeit) zunächst ein Prognosetool für die wünschenswerte Entwicklung der Aquakultur in Deutschland ist. Das mögliche Anwendungsspektrum reicht jedoch noch darüber hinaus. Es erlaubt vielmehr eine kontinuierliche Weiterentwicklung und nicht zuletzt auch die konsistente Prüfung weiterer plausibler Entwicklungsszenarien. Das nun vorliegende Simulationsmodell ist ein erster Prototyp, der im Zuge weiterer Untersuchungen und Studien jedoch schrittweise ergänzt, weiter ausdifferenziert und im Hinblick auf die funktionale Anwendung weiterentwickelt werden kann. Wenn auch aktuell noch mit vergleichsweise großen Unsicherheiten behaftet, lässt sich der Umwelteinfluss der Aquakultur anhand wesentlicher Parameter (z.B. Produktionsvolumen, Konsum, Anlagentypen und Artenspektrum) mit vergleichsweise geringem Aufwand abschätzen. Eine weitere Anwendungsmöglichkeit besteht insbesondere in der Etablierung eines kontinuierlichen Umweltmonitorings der deutschen Aquakultur, das bislang für eine Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit der Aquakultur eindeutig fehlt. Gerade aufgrund der kontrovers geführten Diskussion zu den Vor- und Nachteilen der Aquakultur würde ein über mehrere Jahre fortgeschriebenes Monitoring eine wertvolle Informationsgrundlage zu einer sachlichen Diskussion schaffen.

Während der NASTAQ mehr als eine Verdopplung des Produktionsvolumens bis 2020 als Ziel angibt, verläuft das Wachstum im vorliegenden Modell zunächst moderater (vgl. Abbildung 5-2). Hier wird davon ausgegangen, dass sich die flächendeckende oder besser gesagt großflächige Einführung von KLA bis ins Jahr 2020 nicht realisieren lässt. Betrachtet man die erforderliche Zeit für Planung, Genehmigung, Bau, so ist eher damit zu rechnen, dass die Produktion in KLA erst nach 2020 deutlich ansteigt. Dies gilt auch vor dem Hintergrund, dass die Anlagen über einen gewissen Zeitraum hinweg eingefahren und an die tatsächliche Produktionskapazität herangeführt werden müssen. Dieser Aspekt konnte allerdings, in Ermangelung belastbarer Zahlenwerte, in der bisherigen Umsetzung der Simulation noch nicht berücksichtigt werden.

6. Arbeitspaket 3: Ableitung von Handlungsempfehlungen für die Politik

Dieses Kapitel greift die grundsätzlichen Überlegungen aus den vorangegangenen Abschnitten auf und übersetzt diese in neun konkrete Empfehlungen für eine Politikstrategie Nachhaltige Aquakultur 2050. Adressaten sind dabei insbesondere Entscheidungsträger/innen in der Politik, darüber hinaus aber auch interessierte Akteure in Wissenschaft und Industrie. Diese Empfehlungen haben eine kurz- bis mittelfristige Perspektive, mit deren Umsetzung direkt begonnen werden könnte. Insgesamt werden Empfehlungen zu drei verschiedenen Handlungsbereichen gegeben:

- Wissenschaftliche Datengrundlagen konsolidieren (Abschnitt 6.1)
- Umweltbezogenes Ordnungsrecht (Abschnitt 6.2)
- Flankierende Instrumente, Forschungsschwerpunkte und öffentliche Dialoge (Abschnitt 6.3)

In den folgenden Abschnitten werden diese Empfehlungen erläutert.

6.1. Wissenschaftliche Datengrundlagen konsolidieren

6.1.1. Empfehlung 1: Die nachhaltige Bereitstellung von Futtermitteln für die Aquakultur weiter erforschen

Die herausragende ökologische und ökonomische Bedeutung der Futtermittelbereitstellung in der Aquakultur ist offensichtlich und wird auch durch die Ergebnisse dieser Untersuchung eindrücklich verdeutlicht. Entsprechend ergeben sich hier große Hebel für eine zukünftige ökologische und ökonomische Optimierung der Futtermittelbereitstellung. Seit vielen Jahren wird die Futtermittelbereitstellung in der Aquakultur und insbesondere die Testung von Alternativen zu Fischmehl und Fischölanteilen meistens im Labormaßstab intensiv beforscht. Wesentliche Herausforderung hierbei ist, dass jede Fischart anders auf einen Futtermittelwechsel reagiert und pauschale Aussagen über die Substitutionsmöglichkeiten nicht möglich sind. Es fehlt hier in vielen Fällen jedoch an praxisnahen Langzeittests und es sollte eine artspezifische Futtermitteloptimierung unter Umweltgesichtspunkten angestrebt werden. Übergeordnetes Ziel sollte eine aus Systemsicht optimale Spezifizierung der verschiedenen Parameter sein, um die gesamten Umweltbelastungen entlang des gesamten Lebenszyklus zu minimieren.

Bei künftigen Förderprogrammen im Bereich der nachhaltigen Bereitstellung von Futtermitteln für die Aquakultur sollten, neben der weiteren Beforschung von alternativen Proteinquellen, insbesondere auch die Testung bereits vorhandener alternativer Futtermittelkonzepte in Langzeittests berücksichtigt werden. Hierzu ist die Beteiligung der bereits heute wirtschaftlich produzierenden Aquakulturbetriebe von hoher Relevanz. Die Testung von alternativen Futtermitteln im laufenden Betrieb birgt jedoch auch wirtschaftliche Risiken für die Produzenten. Hier müsste die Bereitschaft der Betriebe zur Mitwirkung an entsprechend anwendungsnahen F&E-Projekten entsprechend honoriert werden. Zur Ausgestaltung entsprechender Anreizsysteme können keine allgemein gültigen Empfehlungen ausgesprochen werden. Welche Maßnahmen als sinnvoll und angemessen einzuschätzenden sind, müsste daher zunächst im Einzelfall und unter Beteiligung von Branchen- bzw. Fachexperten und -expertinnen definiert werden.

Aufbauend auf den Langzeittests sollten die für die jeweilige Zielfischart unter Umweltgesichtspunkten optimalen futtermittelbezogenen Prozessparameter für die verschiedenen in Aquakultur gezüchteten Spezies identifiziert werden.

Parallel hierzu sollte die Beforschung von insbesondere Fischmehl- und Fischölsubstituten weiter unterstützt werden. Beispiele für in diesem Zusammenhang mögliche Forschungsansätze wären hier F&E-Projekte zur Effizienzsteigerung der Produktion von Substituten (Mikroalgen, Insektenproduktion, etc.) und die testbasierte Optimierung der Formulierung der neuen Futtermittel.

6.1.2. Empfehlung 2: Die standardisierte Bewertung von technologischen und managementspezifischen Ansätzen für den Bereich Aquakultur entwickeln

Die Etablierung von standardisierten Verfahren zur Bewertung von Betrieben bzw. Produktionsprozessen erlaubt eine richtungssichere und verlässliche Einschätzung über den Stand der Technik in den verschiedenen Teilsektoren der deutschen Aquakultur. Für die Festlegung entsprechender Verfahren sollten dabei neben in Deutschland bereits verfügbaren technologischen Ansätzen auch solche Ansätze berücksichtigt werden, die auf europäischer bzw. internationaler Ebene diskutiert werden. Hierbei besteht grundsätzlich die Möglichkeit zur Orientierung an Ansätzen, die in anderen Industriebereichen bereits verbreitet sind. Als vielversprechende Beispiele ist hier das Verfahren zur Bestimmung von besten verfügbaren Technologien (BVT) und den besten verfügbaren Umweltmanagementansätzen (Best Environmental Management Practices, BEMPs) zu nennen.

Ein konkretes im Bereich der Aquakultur bereits aufgesetztes Projekt ist agri benchmark Fish, des Thünen-Instituts. Dieses hat zum Ziel, jeweils fischartenspezifische Benchmarks zu identifizieren, an denen sich die zukünftige Entwicklung der Aquakultur orientieren können soll. Bei dem derzeit in erster Linie auf marktwirtschaftliche Aspekte fokussierenden Ansatz wäre jedoch ein zukünftig verstärkter Einbezug von ökologischen Parametern wünschenswert und zielführend. Die Weiterentwicklung der Aquakultur-Prozesstechnik im Rahmen von anwendungsnahen F&E-Projekten könnte sich an diesen Benchmarks ausrichten.

Im Rahmen der Etablierung standardisierter Bewertungsansätze sollte auch die Bereitstellung von Futtermitteln adressiert werden. Insbesondere das Wissen um die ökologischen Folgen der Futtermittelbereitstellung muss erweitert werden. So braucht es geeignete bzw. hinreichend genaue Kenntnisse über das für zukünftig relevante Zuchtfischarten benötigte Futtermittel. Mindestens aber eine Einstufung nach plausibel abgeleiteten Kategorien, wie beispielsweise Futtermittel mit hohem, mittlerem und niedrigem Proteingehalt. Dies gilt insbesondere in Bezug auf die Erhöhung des Anteils an Fischmehl- und Fischöl-Substituten sowie für einen gesteigerten Anteil an Futtermitteln aus Fischnebenprodukten. Auch für fischbasierte Futtermittelbestandteile aus Wildfängen, die nach Ausschöpfung der Substitutionspotenziale noch verbleiben, könnte beispielsweise ein System zur Rückverfolgbarkeit der Rohstoffe implementiert und damit langfristig die Futtermittelbereitstellung aus nachhaltig bewirtschafteten Quellen sichergestellt werden.

6.1.3. Empfehlung 3: Die Interaktion von Aquakultur-Anlagen mit der Umwelt vertieft erforschen

Die Aquakultur steht grundsätzlich und unabhängig vom Anlagentyp in einer dynamischen Interaktion mit der Umwelt. Dies gilt letztlich auch für Kreislaufanlagen, die anders als es der Name suggeriert, keine gegenüber der Umwelt vollständig abgeschlossenen Systeme sind. Über die Fütterung der Fische ebenso wie über die Ausschleusung von Stoffwechselprodukten der Fische bzw. Futtermittelreste werden auch bei einer ökologisch hochwertigen Produktion immer Stoffeinträge und -austräge bleiben, die in komplexen Wechselbeziehungen mit der Umwelt stehen. Hier muss das Wissen um Art und Umfang der Wirkmechanismen erweitert werden. Anders als in der gegenwärtigen Praxis vor allem des öffentlichen Diskurses um die Aquakultur sollten dabei neben den negativen Folgen der Aquakultur (z.B. Abhängigkeit von Wildfängen, Energiebedarf, Eutrophierung) auch die positiven Aspekte und Beiträge zu Ökosystemleistungen (Schaffung von unter Biodiversitätsgesichtspunkten schützenswerten Habitaten, Entlastung der Wildbestände) gewürdigt werden.

Zudem muss das Wissen um die synergetische Integration von Kreislaufanlagen in bestehende industrielle bzw. wasserwirtschaftliche Infrastrukturen erweitert und die daraus resultierenden Optimierungspotenziale sollten umfassend ökologisch bewertet werden.

6.2. Sonderordnungsrecht¹² und Umweltschutzrecht

6.2.1. Empfehlung 4: Vereinheitlichung und gegebenenfalls Vereinfachung des Genehmigungsverfahrens für die Ansiedelung von Kreislaufanlagen

Die grundsätzliche Genehmigungsfähigkeit von Kreislaufanlagen ist in Deutschland in der Vergangenheit bereits gezeigt worden. Dennoch gestaltet sich der Prozess oft vergleichsweise langwierig und das Ergebnis des Prozesses ist mitunter nur schwer absehbar. Dabei liegt die anzustrebende Vereinheitlichung und gegebenenfalls Vereinfachung des Verfahrens sowohl im Interesse der Antragsteller als auch im Interesse der zuständigen Stellen in den Genehmigungsbehörden. Ansätze zur Verbesserung der Situation bestehen bereits auf Ebene einzelner Bundesländer, in denen z.B. spezifische Genehmigungsleitfäden (z.B. Schleswig-Holstein) für Antragsteller und Genehmigungsbehörden entwickelt und verfügbar gemacht wurden. Hier ebenfalls zu nennen ist die Ausweisung von grundsätzlich für die Ansiedelung von Aquakulturanlagen geeigneten Standorte in Mecklenburg-Vorpommern.

Aufgrund der landeshoheitlichen Verantwortung, der die Binnenfischerei und Aquakultur in Deutschland unterliegt, sind die entsprechenden Ansätze meist jedoch noch auf einzelne Bundesländer ausgerichtet. Hier könnten ein länderübergreifender Wissenstransfer und, soweit realisierbar, auch eine Vereinheitlichung der Genehmigungspraxis zur Entlastung sowohl der Antragsteller als auch der antragsbearbeitenden Behörden führen.

6.2.2. Empfehlung 5: Ausbildung an künftige Anforderungen anpassen

Insbesondere die technologische Entwicklung der Aquakultur führt dazu, dass sich auch der Bedarf an fischereifachlicher Expertise und Fachkräften mit Aquakultur zunehmend wandelt. Diesem Wandel im Anforderungsprofil ist rechtzeitig durch eine entsprechende Organisation der fischereifachlichen Aus- und Weiterbildung Rechnung zu tragen. Die Integration von Schulungsinhalten zur Kreislaufaquakultur sollte entsprechend, zumindest in Form eines optionalen Angebots, in den einzelnen Bundesländern als Bestandteil des Themenkanons der Ausbildung zum Fischereiwirt aufgenommen werden. Als ein Beispiel zu nennen ist hier Bayern, wo die Richtlinien zur Ausbildung im Jahr 2016 entsprechend überarbeitet wurden. Neben der Verankerung in den Ausbildungsordnungen wird es jedoch auch darauf ankommen, entsprechende Anlagen, die zur Schulung dieser Inhalte geeignet sind, sowie auch Personal bereit zu stellen, das entsprechende Schulungsinhalte qualifiziert vermitteln kann.

6.2.3. Empfehlung 6: Weiterentwicklung der derzeitigen Erfassung der Produktion von Fischen und Fischerzeugnissen in amtlichen Statistiken

Die Grundlagen zur Erfassung der Produktion von Fisch und Fischereierzeugnissen ist in Deutschland im Statistikgesetz festgelegt. Gegenwärtig werden neben der amtlichen Statistik auf bundesdeutscher Ebene auf unterschiedlichen Ebenen Daten zur Fischproduktion erhoben, wie erst kürzlich gezeigt wurde (Sähn et al. 2017). Hier wäre eine Vereinheitlichung und insbesondere eine zentrale Erfassung und Verfügbarmachung insbesondere der bislang kaum bzw. nicht erhobenen umweltrelevanten Daten besonders wünschenswert.

¹² Das Ordnungsrecht umfasst die Gesamtheit aller Rechtsvorschriften, die der Abwehr von Gefahren und Beeinträchtigungen der öffentlichen Sicherheit und Ordnung dienen. Das Ordnungsrecht lässt sich dabei in das allgemeine und das besondere Ordnungsrecht (sog. Sonderordnungsrecht) unterteilen. Zum Sonderordnungsrecht gehört auch das Fischereirecht.

6.3. Flankierende freiwillige Instrumente, Forschungsschwerpunkte und öffentliche Dialoge

6.3.1. Empfehlung 7: Umweltmonitoring der Aquakultur implementieren

Die weitere Entwicklung der Aquakultur sollte, auch um mögliche negative Folgen für die Umwelt frühzeitig erkennen und zeitnah gegensteuern zu können, im Rahmen eines festen Monitorings begleitet werden. Dies könnte gegebenenfalls im Rahmen der bereits etablierten und auf Dauerhaftigkeit angelegten Erfassung von ökonomischen Daten im Rahmen des agri benchmark Fish Projektes erfolgen. Die Empfehlung, ein Umweltmonitoring zu implementieren, baut dabei bewusst auf die Empfehlung zur standardisierten Bewertung von technologischen und managementspezifischen Ansätzen für den Bereich Aquakultur (vgl. Empfehlung 2) auf.

Über die Bildung von Zeitreihen ließen sich nicht nur vergangene Entwicklungen transparent machen, auch die Ableitung von Prognosen zur möglichen zukünftigen Entwicklung könnte auf Basis in diesem Zusammenhang zu bildender Zeitreihen stetig verbessert werden. Ein wie auch immer ausgestaltetes Monitoring-Konzept für die Entwicklung der Aquakultur in Deutschland sollte jedoch unbedingt auch die ökologischen Aspekte mit abbilden.

Die ökologische Performanz der deutschen Aquakultur kann, so sie sich denn im internationalen Vergleich valide nachweisen lässt, ein wesentlicher Treiber der zukünftigen Entwicklung der Aquakultur in Deutschland sein. Es liegt somit im Eigeninteresse des Wirtschaftssektors und der Politik auf diesem Gebiet, die Umweltimpacts der deutschen Aquakultur zu erfassen. Die in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Ansätze könnten hierzu einen Beitrag leisten, der gegenüber wesentlich aufwändigeren und weitaus datenintensiveren Verfahren Zeit- und Kostenvorteile realisiert, zugleich jedoch eine hinreichend genaue Abbildung der Umwelleistung der deutschen Aquakultur erlaubt. Die Etablierung eines entsprechenden Monitorings wird daher als besonders dringlich empfohlen. Ohne eine entsprechend ausgeweitete Analyse der Umweltauswirkungen der Aquakultur wird sich das politisch geforderte bzw. gewünschte wirtschaftliche Wachstum einer nachhaltigen Aquakultur nur schwer erreichen lassen.

6.3.2. Empfehlung 8: Anwendung freiwilliger Instrumente zur integrierten Betrachtung von Chancen und Risiken der Aquakultur in Deutschland fördern und weiterentwickeln.

Angesichts der vorhandenen Wissenslücken in Hinblick auf die Auswirkungen der komplexen Interaktion von Aquakultur-Anlagen mit den verschiedenen Umweltmedien, sollten F&E-Einrichtungen, Anlagenbetreiber und letztlich auch die Politik eine integrierte Betrachtung von Chancen und Risiken der Aquakultur in Deutschland unterstützen. Hierzu können verschiedene methodische Ansätze, wie zum Beispiel die Berechnung des CO₂-Fußabdrucks der Produktion von Fischen und Fischereierzeugnissen, die Bewertung der Energie- und Ressourceneffizienz der Anlagen, die Abschätzung zur Verfügbarkeit und zum Verbrauch dieser Ressourcen, die Bewertung des gesellschaftlichen Nutzens und nicht zuletzt der Lebenszykluskosten der Aquakultur in Deutschland betrachtet und gegebenenfalls mit anderen, z.B. landbasiert produzierten Lebensmitteln, verglichen werden. Hier bestehen wiederum enge Bezüge zu den Empfehlungen 2 und 3. Ebenso könnte die integrierte Betrachtung von Chancen und Risiken eine wertvolle Datenbasis für das kontinuierliche Monitoring der Aquakultur (vgl. Empfehlung 7) bieten und beispielsweise bei einer Weiterentwicklung des Modells „AMOUNT“ (Aquakultur Monitoring Umwelt und Nachhaltigkeit) berücksichtigt werden.

6.3.3. Empfehlung 9: Bündelung des Wissens und Koordination des Wissenszuwachses im Bereich der Aquakultur in Deutschland vorantreiben.

In Deutschland arbeiten zahlreiche, auch im internationalen Vergleich exzellente wissenschaftliche Einrichtungen im Bereich der Aquakultur. Die weitgehend separierten Arbeiten der einzelnen Institute, die von der Deutschen Agrarforschungsallianz (DAFA) auch als alarmierende „Zersplitterung der deutschen Aquakulturforschung“ bezeichnet wurde, sollte dringend überwunden werden. Die im Rahmen der Entwicklung der DAFA-Strategie „Aquakulturforschung gestalten“ als eine von drei Kernempfehlungen formulierte „Entwicklung eines (virtuellen) deutschen Aquakulturzentrums“ wird, auch in Hinblick auf einen dadurch möglichen, stärkeren Transfer von der Forschung in die Praxis, an dieser Stelle vollumfänglich unterstützt.

Literaturverzeichnis

7. Literaturverzeichnis

- Attramadal, Kari J.K.; Øie, Gunvor; Størseth, Trond R.; Alver, Morten O.; Vadstein, Olav; Olsen, Yngvar (2012): The effects of moderate ozonation or high intensity UV-irradiation on the microbial environment in RAS for marine larvae. In: *Aquaculture* 330-333, S. 121–129. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2011.11.042.
- Ballagh, D. A.; Pankhurst, P. M.; Fielder, D. S. (2011): Embryonic development of mulloway, *Argyrosomus japonicus*, and egg surface disinfection using ozone. In: *Aquaculture* 318 (3-4), S. 475–478. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2011.06.005.
- BLE (2017): Perspektiven für die deutsche Aquakultur im internationalen Wettbewerb. Abschlussbericht. Stand September 2017. Hg. v. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), zuletzt geprüft am 09.08.2018.
- BMEL (Hg.) (2014): Nationaler Strategieplan Aquakultur für Deutschland. Beschluss Nr. 36 der Agrarministerkonferenz vom 27.04.2012. Online verfügbar unter http://www.bundesverband-aquakultur.de/sites/default/files/dokumente/aktuelles/nationaler_strategieplan_aquakultur_deutschland.pdf, zuletzt geprüft am 27.07.2017.
- Boyd, Claude E.; McNevin, Aaron (2015): *Aquaculture. Resource use, and the environment*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons Inc.
- Chambel, João; Costa, Ricardo; Gomes, Mónica; Mendes, Susana; Baptista, Teresa; Pedrosa, Rui (2014): Hydrogen peroxide, iodine solution and methylene solution highly enhance the hatching rate of freshwater ornamental fish species. In: *Aquacult Int* 22 (6), S. 1743–1751. DOI: 10.1007/s10499-014-9779-1.
- Chauton, Matilde S.; Reitan, Kjell Inge; Norsker, Niels Henrik; Tveterås, Ragnar; Kleivdal, Hans T. (2015): A techno-economic analysis of industrial production of marine microalgae as a source of EPA and DHA-rich raw material for aquafeed: Research challenges and possibilities. In: *Aquaculture* 436, S. 95–103. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2014.10.038.
- Deutsche Agrarforschungsallianz (DAFA) (Hg.) (2014): *Aquakulturforschung gestalten! Fachforum Aquakultur ; Strategie der Deutschen Agrarforschungsallianz*. Thünen-Institut. Braunschweig. Online verfügbar unter http://www.dafa.de/fileadmin/dam_uploads/images/Fachforen/FF_Aquakultur/DAFA-FF%20Aquakultur%20A4%20red.pdf, zuletzt geprüft am 27.07.2017.
- Diana, J. et al. (2013): Responsible Aquaculture in 2050. Valuing Local Conditions and Human Innovations Will Be Key to Success. In: *BioScience* 63 (4), S. 255–262. DOI: 10.1525/bio.2013.63.4.5.
- European Commission (2014): *Facts and figures on the common fisheries policy. Basic statistical data. 2014 edition*. Luxembourg: Publications Office of the European Union (Facts and figures on the CFP, 2014). Online verfügbar unter <http://www.aipce-cep.org/sites/default/files/201503/Facts%20and%20figures%20on%20the%20Common%20Fisheries%20Policy%202014.pdf>, zuletzt geprüft am 27.07.2017.

- Eurostat (2016): Tables, Graphs and Maps Interface (TGM) table. Online verfügbar unter <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=de&pcode=tag00075&plugin=1>, zuletzt geprüft am 27.07.2017.
- fair-fish (Hg.) (2015): Richtlinien fair-fish für die Fischzucht. Online verfügbar unter http://www.fair-fish.net/resources/fischzuchtrichtlinien_2015.pdf, zuletzt geprüft am 27.07.2017.
- FAO (2012a): Statistical data: International commodity prices. Hg. v. FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Online verfügbar unter <http://www.fao.org/economic/est/statistical-data/est-cpd/en/>, zuletzt geprüft am 24.02.2015.
- FAO (2016): The State of World Fisheries and Aquaculture 2016. Online verfügbar unter <http://www.fao.org/3/a-i5555e.pdf>, zuletzt geprüft am 08.08.2018.
- FAO (2017): Fisheries and aquaculture statistics 2015, zuletzt geprüft am 09.08.2018.
- FAO (2018): The State of World Fisheries and Aquaculture 2018. Online verfügbar unter <http://www.fao.org/3/I9540EN/i9540en.pdf>, zuletzt geprüft am 09.08.2018.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2009): Fish as feed inputs for aquaculture. Practices, sustainability and implications. In: *Fisheries and Aquaculture Technical Paper* (518). Online verfügbar unter <http://www.fao.org/3/a-i1140e.pdf>, zuletzt geprüft am 27.07.2017.
- Good, Christopher; Davidson, John; Welsh, Carla; Snekvik, Kevin; Summerfelt, Steven (2011): The effects of ozonation on performance, health and welfare of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* in low-exchange water recirculation aquaculture systems. In: *Aquacultural Engineering* 44 (3), S. 97–102. DOI: 10.1016/j.aquaeng.2011.04.003.
- Hagiwara, Atsushi; Wullur, Stenly; Marcial, Helen S.; Hirai, Narisato; Sakakura, Yoshitaka (2014): Euryhaline rotifer *Proales similis* as initial live food for rearing fish with small mouth. In: *Aquaculture* 432, S. 470–474. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2014.03.034.
- Hall et al. (2011): Blue Frontiers. Managing the environmental costs of aquaculture. Penang, Malaysia. Online verfügbar unter http://www.conservation.org/publications/documents/BlueFrontiers_aquaculture_report.pdf, zuletzt geprüft am 27.07.2017.
- Hamlin, H. J.; Michaels, J. T.; Beaulaton, C. M.; Graham, W. F.; Dutt, W.; Steinbach, P. et al. (2008): Comparing denitrification rates and carbon sources in commercial scale upflow denitrification biological filters in aquaculture. In: *Aquacultural Engineering* 38 (2), S. 79–92. DOI: 10.1016/j.aquaeng.2007.11.003.
- Hawkyard, M.; Stuart, K.; Langdon, C.; Drawbridge, M. (2016): The enrichment of rotifers (*Brachionus plicatilis*) and *Artemia franciscana* with taurine liposomes and their subsequent effects on the larval development of California yellowtail (*Seriola lalandi*). In: *Aquacult Nutr* Vol 22, Issue 14, pp. 911–922. DOI: 10.1111/anu.12317.
- IGB, Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (Hg.) (o.J.a): Fischernahrung - Tomatenfisch. Online verfügbar unter <http://www.tomatenfisch.igb-berlin.de/fischernaehrung.html>, zuletzt geprüft am 27.07.2017.
- IGB, Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (Hg.) (o.J.b): Fischmehl. Online verfügbar unter <http://www.aquakulturinfo.de/index.php/fischoel.html>, zuletzt geprüft am 27.07.2017.
- Johari, Seyed Ali; Kalbassi, Mohammad Reza; Soltani, Mehdi; Yu, Il Je (2015): Application of nanosilver-coated zeolite as water filter media for fungal disinfection of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) eggs. In: *Aquacult Int*. DOI: 10.1007/s10499-015-9906-7.

- Kobayashi, Mimako; Msangi, Siwa; Batka, Miroslav; Vannuccini, Stefania; Dey, Madan M.; Anderson, James L. (2015): Fish to 2030. The Role and Opportunity for Aquaculture. In: *Aquaculture Economics & Management* 19 (3), S. 282–300. DOI: 10.1080/13657305.2015.994240.
- Lahnsteiner, Franz; Kletzl, Manfred (2015): Iodophor disinfection of non-hardened *Lota lota*, *Salmo trutta*, and *Thymallus thymallus* eggs: Tolerance levels and iodine permeability. In: *Aquaculture* 436, S. 167–171. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2014.10.039.
- Lasner, Tobias; Brinker, Alexander; Nielsen, Rasmus; Rad, Ferit (2017): Establishing a benchmarking for fish farming - Profitability, productivity and energy efficiency of German, Danish and Turkish rainbow trout grow-out systems. In: *Aquac Res* 48 (6), S. 3134–3148. DOI: 10.1111/are.13144.
- Modell Deutschland. Klimaschutz bis 2050. Vom Ziel her denken. erstellt von der Arbeitsgemeinschaft (2009). Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/oekodoc/948/2009-054-de.pdf>, zuletzt geprüft am 10.08.2018.
- Möller, M.; Antony, F. (2015): Synopse der übergeordneten Erkenntnisse aus der Nachhaltigkeitsbewertung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Rahmen der DBU-Förderinitiative „Nachhaltige Aquakultur“. Öko-Institut e.V. Freiburg. Online verfügbar unter <https://www.dbu.de/phpTemplates/publikationen/pdf/041115094404a19o.pdf>, zuletzt geprüft am 23.07.2017.
- Möller, M.; Antony, F.; Marquardt, M.; Teufel, J.; Moch, K. (2015): Förderinitiative Aquakultur: Wissenschaftliche Begleitung und Nachhaltigkeitsbewertung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Rahmen der DBU-Förderinitiative ‚Nachhaltige Aquakultur‘..; Öko-Institut e.V. Freiburg. Online verfügbar unter <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-29198.pdf>, zuletzt geprüft am 27.07.2017.
- Mungkung et al. (2014): Exploratory analysis of resource demand and the environmental footprint of future aquaculture development using Life Cycle Assessment. WorldFish. Penang, Malaysia (White Paper: 2014-31). Online verfügbar unter https://www.wri.org/sites/default/files/worldfish_white_paper_aquaculture_2050_life_cycle_assessment.pdf, zuletzt geprüft am 26.07.2017.
- OECD (2015): Agriculture Statistics: OECD Publishing.
- OECD; FAO (2018): OECD-FAO Agricultural Outlook 2018-2027. Online verfügbar unter <http://www.fao.org/3/i9166en/l9166EN.PDF>, zuletzt geprüft am 09.08.2018.
- Reiser, S.; Schroeder, J. P.; Wuertz, S.; Kloas, W.; Hanel, R. (2010): Histological and physiological alterations in juvenile turbot (*Psetta maxima*, L.) exposed to sublethal concentrations of ozone-produced oxidants in ozonated seawater. In: *Aquaculture* 307 (1-2), S. 157–164. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2010.07.007.
- Sähn, Niko; Reiser, Stefan; Hanel, Reinhold; Focken, Ulfert (2017): Verfügbarkeit umweltrelevanter Daten zur deutschen Süßwasseraquakultur. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut (Thünen Report, 47). Online verfügbar unter http://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn058466.pdf, zuletzt geprüft am 23.07.2017.
- Schroeder, J. P.; Croot, P. L.; Dewitz, B. von; Waller, U.; Hanel, R. (2011): Potential and limitations of ozone for the removal of ammonia, nitrite, and yellow substances in marine recirculating aquaculture systems. In: *Aquacultural Engineering* 45 (1), S. 35–41. DOI: 10.1016/j.aquaeng.2011.06.001.

- Statistisches Bundesamt (Hg.) (2016b): Bildung und Kultur - Berufliche Bildung. Fachserie 11 Reihe 3. Wiesbaden. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/BildungForschungKultur/BeruflicheBildung/BeruflicheBildung2110300157004.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 26.07.2017.
- Statistisches Bundesamt (Hg.) (2016): Land und Forstwirtschaft, Fischerei - Erzeugung in Aquakulturbetrieben (Fachserie 3 Reihe 4.6). Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/LandForstwirtschaft/Fischerei/Aquakulturbetriebe2030460167004.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 27.07.2017.
- Statistisches Bundesamt (Hg.) (2017): Statistisches Bundesamt Deutschland - GENESIS-Online Datenbank. Statistisches Bundesamt. Online verfügbar unter <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online/link/tabelleErgebnis/12421-0001>, zuletzt aktualisiert am 23.07.2017, zuletzt geprüft am 27.07.2017.
- Statistisches Bundesamt (Destatis) (Hg.) (2017): Erzeugung in Aquakulturbetrieben - Fachserie 3 Reihe 4.6 - 2017. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/LandForstwirtschaft/Fischerei/Aquakulturbetriebe2030460177004.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 09.08.2018.
- UN (Hg.) (2015): Transformation unserer Welt: die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung. Anlage zur Resolution der Generalversammlung, verabschiedet am 1. September 2015. 70/1 (Resolution der Generalversammlung). Online verfügbar unter <http://www.un.org/depts/german/gv-70/band1/ar70001.pdf>, zuletzt geprüft am 27.07.2017.
- van Rijn, Jaap; Tal, Yossi; Schreier, Harold J. (2006): Denitrification in recirculating systems: Theory and applications. In: *Aquacultural Engineering* 34 (3), S. 364–376. DOI: 10.1016/j.aquaeng.2005.04.004.
- Waite et al. (2014): Improving Productivity and Environmental Performance of Aquaculture. Installment 5 of "Creating a Sustainable Food Future". Working Paper. Hg. v. World Resources Institute. Online verfügbar unter https://www.wri.org/sites/default/files/wrr_installment_5_improving_productivity_environmental_performance_aquaculture.pdf, zuletzt geprüft am 26.07.2017.
- Wedekind, Helmut (o. J.): Kreislauftechnologie: Was ist in Deutschland möglich? Online verfügbar unter http://www.agintec.de/dateien/dokumente/Wedekind_KLA.pdf, zuletzt geprüft am 27.07.2017.
- Wold, Per-Arvid; Holan, Astrid Buran; Øie, Gunvor; Attramadal, Kari; Bakke, Ingrid; Vadstein, Olav; Leiknes, Tor Ove (2014): Effects of membrane filtration on bacterial number and microbial diversity in marine recirculating aquaculture system (RAS) for Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) production. In: *Aquaculture* 422-423, S. 69–77. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2013.11.019.
- World Bank (Hg.) (2013): Fish to 2030: Prospects for Fisheries and Aquaculture. Agriculture and Environmental Services Discussion Paper 03 (WORLD BANK REPORT NUMBER 83177-GLB). Online verfügbar unter <http://www.fao.org/docrep/019/i3640e/i3640e.pdf>, zuletzt geprüft am 26.07.2017.
- World Ocean Review (2013): Die Zukunft der Fische – die Fischerei der Zukunft. Unter Mitarbeit von Tim Schröder. Hamburg: Maribus gGmbH (Mare, 2 (2013)). Online verfügbar unter http://worldoceanreview.com/wp-content/downloads/wor2/WOR2_gesamt.pdf, zuletzt geprüft am 26.07.2017.