

Schlussbericht

Multiple Nutzung und Co-Management von Offshore-Strukturen: Marine Aquakultur und Offshore-Windparks

Kurztitel: Open Ocean Multi-Use (OOMU)
Föderkennzeichen: 0325206
Zuwendungsempfänger: **IMARE Institut für Marine Ressourcen GmbH**,
Bussestraße 27-29, 27570 Bremerhaven, Deutschland
Tel: +49 (0)471 4831 22 00, Fax: +49 (0)471 4831 22 10
Email: info@imare.de, Internet: www.imare.de

Projektleitung: Herr Prof. Dr. Bela H. Buck

Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2010 – 29.02.12

Berichtszeitraum: 01.08.2010 – 29.02.12

Autoren in alphabetischer Reihenfolge:

Bela H. Buck, Jan Dubois, Michael Ebeling, Benjamin Franz, Nils Goseberg, Matthias Hundt, Peter Schaumann, Torsten Schlurmann, Jan Schmidt, Bente Vollstedt, Lara Wever

Für das

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Stresemannstraße 128-130, 10117 Berlin

Bremerhaven, 20.09.2012

Projektbeteiligte

Institut für Marine Ressourcen GmbH (IMARE, Projektleitung)
Bussestr. 27-29, 27570 Bremerhaven



Kutterfisch Zentrale GmbH (Kutterfisch)
Niedersachsenstr. Halle IX, 27472 Cuxhaven



BARD Engineering GmbH (BARD)
Am Freihafen 1, 26725 Emden



FRoSTA AG (FRoSTA)
Am Lunedeich 116, 27572 Bremerhaven



EWE Aktiengesellschaft (EWE)
Tirpitzstr. 39, 26122 Oldenburg



Unterauftragnehmer

Franzius Institut (FI) der Leibniz Universität Hannover
Nienburger Str. 4, 30167 Hannover



Institut für Stahlbau der Leibniz Universität Hannover
Appelstraße 9A, 30167 Hannover



Institut für Seefischerei des Johann Heinrich von Thünen-Instituts
Palmaille 9, 22767 Hamburg



Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit unter dem Förderkennzeichen 0325206 aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhalt

1. Zusammenfassung	7
2. Aufgabenstellung	9
3. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	10
4. Planung und Ablauf des Vorhabens	11
4.1 Planung und Ablauf des Vorhabens der AG1 „Technik und Design“	12
4.2 Planung & Ablauf des Vorhabens der AG 2 „Fischereiökonomie/Wirtschaftlichkeit“	12
4.3 Planung und Ablauf des Vorhabens der AG3 „Technik & Design“	13
4.4 Planung und Ablauf des Vorhabens der AG4 „IKZM, Akzeptanz und Co-Management“	14
5. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	15
5.1 Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden	15
5.2 Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste	16
6. Zusammenarbeit mit anderen Stellen/Beteiligte Partner und Institutionen	16
7. Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse	17
7.1 Abschlussbericht der AG 1 - Biologie und Aquakultur: Biologische Kandidatenauswahl für Aquakultur in der Nordsee	17
7.1.1 Einleitung	17
7.1.2 Methoden der Kandidatenauswahl	20
7.1.3 Methoden zu Untersuchungen des Fischverhaltens im Käfigmodell unter Strömungseinfluss	20
7.1.4 Ergebnisse und Diskussion der biologischen Kandidatenevaluation	21
7.1.5 Ergebnisse der Strömungsuntersuchung	29
7.2 Abschlussbericht der AG 2 - Fischereiökonomie/Wirtschaftlichkeit: Ökonomische Beurteilung von Open Ocean Multi Use Konzepten der marinen Aquakultur	30
7.2.1 Einleitung	30
7.2.2 Miesmuscheln (<i>Mytilus edulis</i>)	31
7.2.3 Makroalgen	40
7.2.4 Fische	47
7.3 Abschlussberichte der AG 3 - Technik und Design: Teil I: Fischkäfigdesign zur Aquakulturintegration in Offshore-Windparks	57
7.3.1 Aufgabenstellung	58
7.3.2 Einleitung	58
7.3.3 Grundlagenermittlung und Voruntersuchungen	60
7.3.4 Geometrieentwicklung und Predesign für Modellversuche	81
7.3.5 Begleitung der Modellversuche und Vergleichsrechnungen	94
7.3.6 Optimierung der Käfigstrukturen	96
7.4 Abschlussberichte der AG 3 Technik und Design Teil II: Hydraulische Modellversuche zur Ermittlung von Lasten auf Aquakulturkäfigen	102
7.4.1 Hintergrund und Aufgabenstellung	103
7.4.2 Stand der Wissenschaft	105
7.4.3 Voruntersuchungen zu Maßstabeffekten	111
7.4.4 Hydraulische Modellversuche	130
7.4.5 Ergebnisse	149
7.4.6 Zusammenfassung	177
7.5 Abschlussbericht der AG 4 - IKZM, Akzeptanz und Co-Management: Untersuchungen zu IKZM, Akzeptanz und Co-für die Co-Nutzung von OWEAs durch marine Aquakultur	179

7.5.1	Rechtliche Rahmenbedingungen & Genehmigungsverfahren für Offshore Windparks & Aquakultur	179
7.5.2	Stakeholderanalyse	195
7.5.3	Stakeholder-Workshop	200
7.5.4	Verarbeitung der Ergebnisse	201
7.5.5	Anhänge	203
7.6	Zusammenfassende Schlussfolgerungen aller Projektgruppen	243
7.6.1	Fazit der AG 1: Biologie	243
7.6.2	Fazit der AG 2: Ökonomie	243
7.6.3	Fazit der AG 3: Technik	244
7.6.4	Fazit der AG 4: IKZM und Co-Management	246
8.	Ausblick und zukünftiger Forschungsbedarf	246
8.1	Allgemein	246
8.2	Vorschläge im Detail	246
9.	Referenzen	247
10.	Angaben zum Projekt	252
10.1	Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	252
10.2	Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeiten	253
10.3	Der voraussichtliche Nutzen und die Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	253
10.4	Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	253
10.5	Auflistung der erfolgten und geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses	254
10.5.1	Bisher veröffentlicht oder im Druck	254
10.5.2	Geplant oder in Arbeit	254
10.5.3	Vorträge (national und international)	254
10.5.4	Workshops	256

1. Zusammenfassung

Das transdisziplinäre Forschungsvorhaben „Open Ocean Multi Use“ untersuchte die Synergien zwischen Tragstrukturen von Windenergieanlagen auf See und deren potentielle Co-Nutzung zu Zwecken der Zucht aquatischer Organismen. Dazu zählen vornehmlich Fische aber auch Muscheln und Makroalgen. Im Sinne einer erweiterten Machbarkeitsstudie kamen Methoden aus den Sozial- und Naturwissenschaften, der Ökonomie und des Ingenieurwesens zum Einsatz. Im Ergebnis sind Kenntnisse im Hinblick auf die zukünftige Realisierung einer Prototypanlage entstanden, die es frühzeitig erlauben, auf alle wesentlichen Potentiale und Hemmnisse bei einer Realisierung geeignet zu reagieren. Die Einbindung späterer Produzenten und Abnehmer reduziert dabei das Risiko von bedarfs- und marktfernen Entwicklungsinitiativen.

Im Projekt OOMU wurden zur besseren interdisziplinären wie auch transdisziplinären Zusammenarbeit Experten Gruppen, AGs 1-4, gebildet: (1) Biologie, (2) Wirtschaft, (3) Technik und (4) IKZM sowie Co-Management. Daher lassen sich detaillierte Zusammenfassungen in die vier beschriebenen Themenkomplexe gesondert in den Kapiteln 7.6.1-7.6.4 finden.

2. Aufgabenstellung

Im Hinblick auf den Ausbau der Offshore Windenergie und der damit einhergehenden infrastrukturellen Erschließung weiter Areale in der Nordsee entstand die Idee der Co-Nutzung dieser Strukturen durch marine Aquakultur. Das Projekt Open-Ocean-Multi-Use (OOMU) hatte zur Aufgabe, die Co-Nutzung von Offshore-Windenergieanlagen (Offshore-WEAs) durch Aquakulturanlagen auf ihre Machbarkeit und sein wirtschaftliches Potential hin zu prüfen.

Die grundlegende Idee war die Verankerung bzw. Anknüpfung von Aquakulturanlagen an Offshore-WEA. Dadurch sollte eine wirtschaftliche Erschließung eines bisher für die Aquakultur unbenutzten Meeresgebietes ermöglicht werden, insbesondere in der Nordsee. Die positiven, synergetischen Effekte einer multifunktionalen Nutzung von Offshore-Windparks durch Aquakulturen müssten in einem Co-Management gebündelt werden, um eine effektive und wirtschaftliche Nutzung zu gewährleisten.

Um das Konzept dieser multifunktionalen Nutzung auf seine Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit hin zu prüfen wurden die aus biologischer und technischer Sicht nötigen Voraussetzungen sowie das bei der Durchführung erforderliche Management hinsichtlich extensiver und intensiver Aquakulturvorhaben überprüft. Um dieses Vorhaben möglichst umfassend aus allen relevanten Gesichtspunkten zu betrachten, wurde diese Untersuchung in vier Arbeitsschwerpunkte gegliedert, die in Expertengruppen bearbeitet wurden.

Im Rahmen der Projektrecherche, den Vorüberlegungen in den Gesprächsrunden mit den Unterauftragnehmern sowie Nachforschungen zum Thema Aquakultur an Langleinen und in Käfigen an Gründungsstrukturen in Offshore-Windparks sind folgende Fragestellungen gesammelt worden, die im Rahmen dieses Vorprojektes beantwortet werden sollten. Die Komplexität dieser Fragestellungen ergab sich aus dem Wunsch, in einem möglichen Folgeantrag alle nötigen Vorstudien abgearbeitet zu haben, sodass rein biologische und technische Fragen für einen Realeinsatz im Vordergrund stehen würden.

Wie muss eine Aquakulturanlage für verschiedene Kandidaten, die in einem Offshore-Windpark in der Nordsee an einer Offshore-WEA verankert werden soll, konstruiert sein,

- damit eine Konstruktion entsteht, die aufgrund des Wellen- und Strömungsregimes möglichst resistent ist?
- damit die Lasten, die durch die Verankerung der Aquakulturanlage in die Gründungsstruktur einer WEA eingeleitet werden, möglichst gering sind?
- die konstruktiven Maßnahmen an der Gründungsstruktur der WEA zur Aufnahme der Lasten möglichst klein sind?
- die Wartung und der Betrieb der WEA durch das Vorhandensein der Aquakulturanlage nur minimal beeinträchtigt werden?
- infrastrukturelle Rahmenbedingungen wie z. B. Nutzungsrechte, Schiffssicherheit, Gewährleistungen und Versicherbarkeit der WEA etc. nicht beeinträchtigt werden?

Ferner sollte erarbeitet werden, welche

- Kandidaten hinsichtlich ihrer Kulturbedingungen, Anlagendesign und Marktlage geeignet sind?
- Managementstrategien erforderlich sind, um Nutzerkonflikten auszuweichen, Stakeholder frühzeitig partizipieren zu lassen und bestenfalls ein gemeinsames Co-Management durchzuführen.

3. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Der Projektleiter (IMARE) war vor dem Projektstart schon an verschiedenen Projekten beteiligt, die sich eingehend mit der Thematik der Offshore-Aquakultur und ihrer Umsetzung in der Nordsee beschäftigt haben. Dadurch ist eine weitreichende Expertise entstanden, die ideale Voraussetzungen für die Durchführung des Projektes OOMU geboten hat. Im Folgenden werden die geleisteten Vorarbeiten kurz dargestellt, um die entstandene Expertise und die Entstehung der Projektidee zu verdeutlichen.

Um das Konzept der multifunktionalen Nutzung auf seine Machbarkeit und sein wirtschaftliches Potential hin zu prüfen, wurden die aus biologischer und technischer Sicht nötigen Voraussetzungen sowie das bei der Durchführung erforderliche Management hinsichtlich derjenigen Kandidaten untersucht, deren Zuchtmethodik als extraktiv und extensiv zu bezeichnen ist. Die Untersuchung ergab, dass eine extensive Muschel- sowie Makroalgenzucht als Aquakulturkomponente für die potentielle multifunktionale Nutzung der Offshore-Windparks durchgeführt werden kann.

Die bisher untersuchten Gebiete erstreckten sich auf das Weserästuar (LT Roter Sand), auf Bereiche um Helgoland sowie auf Areale im Rückseitenwatt der Insel Sylt. Makroalgen (*Laminaria saccharina*¹, *L. digitata*²) und Muscheln (*Mytilus edulis*, *Crassostrea gigas*) waren die bisher untersuchten Kandidaten.

Bisher wurden monatliche Probennahmen bei Ausfahrten mit Forschungsschiffen und durch den Einsatz von Tauchern an verschiedenen Kultursystemen entnommen. Dabei wurden folgende Parameter untersucht: Morphologie (Länge, Breite, Dicke) und Biomassenzuwachs, Konditionsindices, Fleischgehalt und Parasitierungsgrad, Fitness-Zustand, die Abundanz von Larven in der Wassersäule und der Ansiedlungserfolg von *Mytilus*-Post-Larven an unterschiedlichen Kollektoren, die Haftungskraft von Haptopheren, die Bruchlast von Kauloiden und die Widerstandskraft des gesamten Thallus von Makroalgen gegenüber physikalischen Kräften, wie Sie im Offshore-Bereich vorherrschen. Zusätzlich wurden biochemische Parameter (Nährstoff-, Chlorophyll-, POC- und TON-Konzentrationen sowie POC/TON Verhältnisse in der Wassersäule) bestimmt, um die Nahrungsverfügbarkeit und -qualität und die Nährstoffzusammensetzung zu ermitteln, sowie ozeanographische Parameter (Strömungen, Wellen, Salinität, Temperatur, Licht) gemessen. Die technischen Untersuchungen konzentrierten sich hauptsächlich auf zwei Systeme (Langleinen und Offshore-Ringe), die in zwei Zuständen (schwimmend oder untergetaucht) an unterschiedlichen Orten (küstennah und küstenfern) ausgebracht wurden, um ein geeignetes Design zu finden, welches die Kultur von Muscheln und Makroalgen erlaubt. Ferner kam ein Offshore-Brutsammler zum Einsatz, der Aussagen über den Ansiedlungserfolg von Muschellarven zuließ. Zusätzlich wurden Studien zum Integrierten Küstenzonen Management (IKZM) durchgeführt, um mögliche Folgen der momentan geltenden Rechtsprechung abschätzen zu können.

Eine kommerzielle Machbarkeitsanalyse wurde in dieser Studie nur hinsichtlich des Kandidaten Miesmuschel durchgeführt und als positiv bezeichnet. Ob darüber hinaus andere Offshore-Marikulturaktivitäten gewinnbringend sein könnten, konnte hier noch nicht beantwortet werden, da zunächst der Bau eines Offshore-Windparks abgewartet werden musste. Die Ergebnisse aus den biologisch-ozeanographischen Untersuchungen in dieser Arbeit ergaben jedoch, dass hinsichtlich der erhaltenen Ergebnisse für einige Kandidaten durchaus wirtschaftliche Potentiale bestehen. Zusammenfassend kann man sagen, dass die Offshore-Aquakultur in der deutschen AWZ grundsätzlich möglich erscheint und dass die Probleme, angeführt durch die momentanen rechtlichen Rahmenbedingungen und die technische Realisierung, in naher Zukunft gelöst werden könnten.

¹ Heute: *Saccharina latisima*

² Heute: *Saccharina digitata*

Die Abbildung 01 zeigt eine chronologische Darstellung abgeschlossener und laufender Forschungsprojekte, die eine Mehrfachnutzung von Offshore-Windparks mit mariner Aquakultur zum Ziel haben.

Das Projekt Nr. 1, die Machbarkeitsstudie, diente als Basis aller folgenden Projekte. Das Projekt Nr. 4, Coastal Futures, stellte sich als Schlüsselprojekt aller Offshore-Projekte heraus, da es die Partizipation aller Akteursgruppen zuließ und somit als Integrationsmodell diente und den schnellen Aufbau eines Netzwerks zuließ (interdisziplinär und transdisziplinär). Alle weiteren Projekte waren naturwissenschaftlicher, technischer oder ökonomischer Natur. Es ist außerdem zu erkennen, dass in (A) zum ersten Mal die Windparkbetreiber auf diese Kombination aufmerksam wurden, in (B) und (C), dass Behörden und Fischer in den Prozess integriert wurden. (D) lässt die ersten Offshore-Ingenieure und WEA-Konstrukteure partizipieren und (E) beteiligt operativ die Muschelfischer. (F) geht gezielt an die Behörden Ebenen, (G) sind die Referenzstationen. Das Projekt Nr. 12 ist das hier beschriebene interdisziplinäre Projekt OOMU, das erstmals alle Akteursgruppen in einem Projekt zusammenbringt. Diese Entwicklung setzt sich auch im Projekt Nr. 13 fort und muss auch für weitere Projekte gelten, in denen die praktische Implementierung im Vordergrund stehen wird.

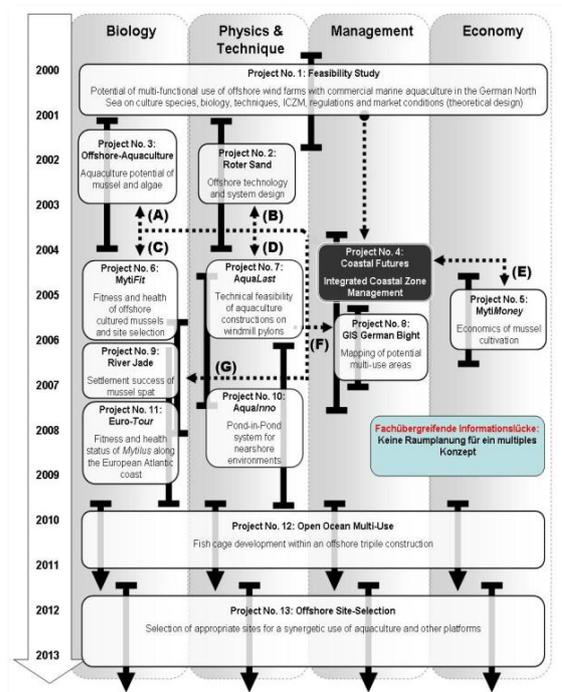


Abb. 01: Ablaufschema der bisher durchgeführten Offshore-Projekte (mod. Nach Buck et al. 2008)

4. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt wurde entsprechend der geplanten Vorhabensbeschreibung, wie im Antrag dargestellt, durchgeführt. Abweichungen vom geplanten Ablauf gab es lediglich im Zeitplan.

Im Rahmen der Untersuchungen in der Arbeitsgruppe Technik und Design hat sich im Projektverlauf herausgestellt, dass die geplanten Käfigkonstruktionen deutlich komplexer konzipiert werden mussten, um den hohen Anforderungen an Offshore-Bauteilen gerecht zu werden. Aus diesem Grund waren auch die vorgesehenen physikalischen Modelluntersuchungen (Franzius-Institut) für die Käfigvarianten sowohl hinsichtlich des Käfigbaus als auch hinsichtlich der Versuchsdurchführung entsprechend anspruchsvoller, sodass sich die ursprünglich geplante Versuchszeit verlängerte und sich der Belegungsplan der umfangreich genutzten Versuchseinrichtungen verschob.

Die identifizierten Käfigkonstruktionen (Zylinder in zwei Verbaugradvarianten sowie eine Kugel) erwiesen sich hinsichtlich der Kraft-/Belastungsmessungen bei den Modelluntersuchungen als sehr aufwändig und erforderten eine erweiterte Versuchszeit, um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen.

Erst nach dem Predesign durch das Institut für Stahlbau (notwendige Randbedingung) konnte die erforderliche Messtechnik am Franzius-Institut in Abhängigkeit von den gewählten Krafteinleitungspunkten vordimensioniert und bestellt werden. Aufgrund der langen Lieferzeiten der sensiblen Messtechnik hat sich ebenfalls ein Zeitverzug bei der Versuchsdurchführung ergeben. Insgesamt führten diese Umstände zu einer Verzögerung der Versuche am Franzius-Institut um zwei Monate.

Da es sich im Laufe des Projektes herausstellte, dass aus Tierschutzaspekten ein Versuch mit Fischen im Wellenkanal nicht wie vorgesehen durchgeführt werden könnte, wurden diese Versuche im Zent-

rum für Aquakulturforschung (ZAF) durchgeführt, wo marine Fischarten unter besten Bedingungen gehalten werden können. Das Setup wurde den erforderlichen Bedingungen mit Strömungspumpen nachgestellt. Es wurden die Käfige des Franzius-Instituts benutzt.

4.1 Planung und Ablauf des Vorhabens der AG1 „Technik & Design“

Partner: IMARE, Kutterfisch, EWE, FRoSTA

In den ersten 3 Monaten wurden in der AG 1 geeignete Kandidaten (hauptsächlich Fische und Makroalgen) vorgeschlagen, die im Raum Nordsee und insbesondere unter den vorherrschenden hydrodynamischen Bedingungen als kultivierbar gelten. Unter der Beratung von Kutterfisch sowie FRoSTA und EWE wurden marktfähige Kandidaten ermittelt. Diese Ergebnisse wurden mit der AG 2 diskutiert und dienten als Grundlage für die Berechnung der kommerziellen Potentiale.

Im nächsten Schritt wurden die für diese Kandidaten abgestimmten System-Designs und die damit verbundene Infrastruktur vorgeschlagen. Dabei wurden für eine Fischzucht alle potentiell möglichen Käfigsysteme mit den nötigen Netzeinheiten evaluiert, mit der Auswahl der Kandidaten abgestimmt und die für diese Käfige nötigen Fütterungs- und Erntevorrichtungen ermittelt. Für eine Makroalgenzucht wurden die erforderlichen Leinensysteme designet und ähnliche Zusatzinfrastruktur (Hebe- und Erntevorrichtung) skizziert. Diese Erkenntnisse wurden unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus der Wirtschaftlichkeitsrechnung der AG 2 unter den Teilnehmern der AG 1 diskutiert. Die daraus verbleibenden Käfig- und Leinensysteme wurden der AG 3 für die technische Untersuchung vorgeschlagen.

In einem weiteren Schritt das Verhalten von Fischen im Hinblick auf die Einwirkung von Strömung und Welle und der damit verbundenen Deformierung eines Netzes bzw. der Bewegung des Gesamtkäfigs untersucht.

Abschließend wurde das Käfigdesign ermittelt, dass nach Berechnung des Instituts für Stahlbau den rauen Bedingungen im Offshore-Bereich widerstehen kann und in die Gründungsstruktur von Bard integrierbar ist. Ferner musste dieser Käfig den Wirtschaftlichkeitsberechnungen der AG 2 entsprechen. IMARE und Kutterfisch haben diese gesamten Ergebnisse hinsichtlich ihrer Eignung für die Aquakultur (heben, senken, füttern, pumpen, warten, Netztausch, Fouling-Management, etc.) evaluiert und einen finalen Käfig mit dem dafür geeigneten Kandidaten ermittelt. Eine ähnliche Vorgehensweise wurde mit der Zuchtkonstruktion für Makroalgen durchgeführt.

4.2 Planung & Ablauf des Vorhabens der AG 2 „Fischereiökonomie/Wirtschaftlichkeit“

Partner: vTI, Kutterfisch, EWE, FRoSTA, IMARE

Die AG Fischereiökonomie/Wirtschaftlichkeit bestehend aus dem Unterauftragnehmer Institut für Seefischerei sowie den Partnern Kutterfisch, EWE, FRoSTA und IMARE nahm nach erfolgter Vorauswahl (AG 1) von Spezies (Fische, Algen, Muscheln etc.), die aus biologischer und aquakulturrelevanter Sicht geeignet erschienen, eine ökonomische Potentialanalyse vor.

Methodisch sollte dieses qualitativ wie quantitativ erfolgen. Neben der Nutzung des Fachwissens der Projektpartner Kutterfisch in Cuxhaven, und FRoSTA in Bremerhaven wurden weitere Experten wie der Bundesverband der deutschen Fischindustrie und des Fischgroßhandels e.V., der Bundesverband Mobiler Fischhändler e.V. wie auch einzelne Fischverarbeiter zu Potentialen und ihren Einschätzungen befragt. Dieses wurde durch entsprechende Expertenbefragungen im Bereich der Fischverarbeitung auf europäischer Ebene, zu denen das vTI durch die gemeinsame Arbeit im Bereich der Gemeinsamen Fischereipolitik sehr intensive Beziehungen unterhält, ergänzt. Sofern es um andere Nutzungsformen der Aquakulturprodukte geht, wie beispielsweise die energetische Nutzung der Makroalgen-

Biomasse, wurde hier der Sachverstand des Projektpartners EWE in Oldenburg wie auch die Expertise weiterer Unternehmen und Wissenschaftler genutzt.

Die quantitative Potentialanalyse erfolgte auf der Grundlage empirischer Daten zeitreihenanalytisch und/oder durch Nutzung anderer geeigneter ökonomischer Verfahren (z.B. multivariate Regressionsanalyse).

Neben der Potentialanalyse auf der Erlösseite fand auch eine erste kostenrechnerische Kalkulation statt, um ökonomisch offensichtlich ungeeignete Kandidaten frühzeitig ausschließen zu können.

Nach Durchführung der entsprechenden Versuche der AG 3 wurde dann in der abschließenden Phase des Projektes eine differenzierte Kosten- und Erlösrechnung durchgeführt. Hierzu wurde sowohl die Erlösseite aktualisiert und vertieft, als auch eine detaillierte betriebswirtschaftliche Kostenrechnung durchgeführt. Dieses umfasste die Kostenermittlung für die technische Ausstattung (teils durch Hochrechnungen, basierend auf den Versuchen), die Inbetriebnahme und Wartung der Anlage (ebenfalls prognostisch auf der Grundlage der Projektergebnisse), die ökonomische Analyse der Kosten der Aufzucht der entsprechenden Spezies bis zur Marktreife, die „Ernte“ und den Transport zum Kunden u.a., jeweils den Unterschied zwischen Modell und tatsächlichen Anlagen berücksichtigend. Methodisch wurden als statische Instrumente Kostenvergleichsrechnungen und darauf aufbauend Break-Even-Analysen durchgeführt, die aufgrund der längeren Planungshorizonte selbstverständlich durch dynamische Investitionsrechnungsverfahren wie Kapitalwertmethode und Interne Zinsfuß-Methode ergänzt wurden. Abschließend wurden durch Sensitivitätsanalysen die kritischen Parameter einer möglichen Verwirklichung der erforschten Anlagen aus ökonomischer Sicht ermittelt.

Entsprechende Erfahrung im Einsatz von Kosten- und Erlösrechnungen, Investitionsrechnungsmethoden und Sensitivitätsanalysen im Bereich der marinen Aquakultur liegen im vTI und bei den Partnern Kutterfisch, EWE und FRoSTA vor.

4.3 Planung und Ablauf des Vorhabens der AG3 „Technik & Design“

Partner: Bard, Franzius-Institut, Institut für Stahlbau, IMARE

In den ersten Monaten wurden in Zusammenarbeit der Projektpartners Bard, Kutterfisch und IMARE sowie den Unterauftragnehmern Franzius-Institut und Institut für Stahlbau drei mögliche Konzepte einer Käfigstruktur zur Fischeaufzucht entwickelt, die in die bestehenden bzw. geplanten Gründungsstrukturen der Offshore-Windenergieanlagen der Firma Bard integriert werden können. Im Vordergrund standen hier zunächst die generelle Formfindung der Käfigstrukturen und deren Integrationsmöglichkeiten in Bezug auf die Seegangsrandbedingungen und Strukturbelastungen, sowie im weiteren Verlauf auch die konkrete statische Ausbildung der Käfige und der Integrationsmechanismen in Bezug auf den Anschluss an die Tragkonstruktion der Windenergieanlage. Sämtliche eventuell zu berücksichtigenden Lastfälle (z.B. Herausheben des Käfigs aus dem Wasser) wurden für eine spätere Bemessung festgelegt. Randbedingungen zur Auslegung der Käfigstrukturen in Bezug auf den maritimen Besatz wurden dabei von der AG 1 zuvor spezifiziert.

Daran anschließend wurden die entwickelten Käfigstrukturen im Rahmen physikalischer Modellversuche detailliert untersucht. Der Schwerpunkt der Forschungen lag dabei zum einen auf der Untersuchung von Seegangs- und Strömungsverhältnissen, um die Struktur in Kombination mit Aufzucht-Käfigen und dem hieraus resultierenden Einfluss auf die Tragstruktur der Offshore-Windenergieanlage zu ermitteln, zum anderen auf der Untersuchung des Einflusses der Käfige auf die Kolkbildung und damit die mögliche Gefährdung der Standsicherheit des gesamten Offshore-Bauwerks.

Die physikalischen Modellversuche wurden im Wellenkanal WKS des Franzius-Instituts (Abmessungen von 110m x 2,20m x 2,00m) durchgeführt, im Modellmaßstab von 1:40-1:60 mit beweglicher

Sohle/Sandbett. Die entsprechenden Modelle, d.h. Gründungsstruktur und Käfige, wurden hierfür zunächst am Franzius-Institut gefertigt.

Im Vorgriff auf die Untersuchung der Käfigstrukturen wurden zunächst ausgewählte Untersuchungen mit (idealisierten) Seegangsverhältnissen an der Gründungsstruktur ohne Käfig durchgeführt, um so Vergleichsmessungen für die Interpretation der eigentlichen Untersuchungsergebnisse mit Käfig zu erlangen. Im Zuge der anschließenden Laborversuche wurden die Modelle, d.h. Gründungsstruktur und jeweils eine Käfigstruktur, wiederum mit Wellenbelastungen im WKS beaufschlagt. Hierbei wurden die Strömungsverhältnisse im Bereich der Gründungsstruktur der OWEA und innerhalb der Käfig-Konstruktion selbst gemessen, ebenso wie die durch die Befestigung des Käfigs auf die Struktur wirkenden Kräfte und die möglichen Auskolkungen im Gründungsbereich. Die Untersuchungen dienten somit zum einen der Ermittlung der einwirkenden Belastungen (Kräfte) auf Gründung und Käfige und zum anderen der Untersuchung der veränderten Strömungsregime um die Struktur und innerhalb der Käfige. Aus letzteren Ergebnissen konnten zudem Rückschlüsse gezogen werden, für welche Arten ein Besatz überhaupt möglich bzw. sinnvoll ist.

Außerdem dienten die Ergebnisse aus den Kraft-Untersuchungen auch zur Ermittlung des Einflusses der Käfigstrukturen auf die Kolkbildung und damit der konkreten Käfigdimensionierung unter Kolkbildungsaspekten, einhergehend mit der Bestimmung der günstigsten Lage der Käfige in Bezug auf eine Kolkbildung.

Abschließend sollte aus den gewonnenen Daten und Erkenntnissen des vorherigen Schrittes ein finales, zur Umsetzung geeignetes Modell ausgewählt werden. Für diese final verabschiedete Variante wurde durch das Institut für Stahlbau der Leibniz Universität Hannover die Tragstruktur des Käfigs auf Grundlage der ermittelten Lastansätze berechnet und auf reale Dimensionen zur fundierten Bemessung der Struktur auslegt.

BARD hat zeitgleich die Befestigungs- und Hebevorrichtung auslegt. Dieses beinhaltet die Bemessung und konstruktive Durchbildung der Anbindung an die Gründungsstruktur sowie maschinenbauliche Berechnungen zu ggf. erforderlichen Vorrichtungen zum Heben und Senken der Käfige in der Wassersäule. Als Belastungen sind dabei vertikale und horizontale Kräfte und resultierende Momente aufgrund des Eigengewichts des Käfigs zu betrachten, sowie einwirkende Strömungs- und Wellenbelastungen auf den Käfig, die aufgrund der Verankerungen auf die Gründungsstruktur wirken.

Dabei dürfen bestehende Systeme der Gründung und z.B. auch der Korrosionsschutz nicht beeinträchtigt werden. Die Belastung auf die Gründungsstruktur muss möglichst gering ausfallen, eine einfache Installation und Nachrüstbarkeit muss gegeben sein und es darf zu keinerlei sicherheitsrelevanten Einschränkungen kommen. Ziel ist es, die Realisierbarkeit zu prüfen und einen konstruktiven Vorschlag für eine Käfigstruktur und Integration zu erarbeiten.

4.4 Planung und Ablauf des Vorhabens der AG4 „IKZM, Akzeptanz und Co-Management“

Partner: IMARE, alle Partner

In der ersten Projektphase wurde ein Überblick erstellt, wie verschiedene Management und Regulierungsebenen derzeit definiert sind und wie diese als funktionale Unterstützung für eine integrative Nutzung von Offshore-Windkraft und Aquakultur nutzbar wären. Die derzeitigen Genehmigungsverfahren, die für eine multiple Nutzung von Meeresraum wirksam sind, wurden aufgezeigt. Ferner wurde festgestellt, ob ein Co-Management Ansatz für die multiple, effektive maritime Raumnutzung möglich ist. Gleichzeitig wurden die betroffenen Stakeholdergruppen ermittelt und deren Bereitschaft zur Zusammenarbeit analysiert. Mögliche Hemmnisse bei der Zusammenarbeit wurden identifiziert und potentielle Lösungsmodelle gemeinschaftlich mit den lokalen Akteuren erarbeitet. Durch

die partizipative Intervention bei der Bündelung von Verteilung von projektrelevanten Informationen während der gesamten Projektdauer wurde ermittelt, ob und wenn ja, in welcher Richtung sich Ansichten und Prioritäten zur multifunktionalen Nutzung von Meeresressourcen innerhalb der jeweiligen Gruppen verändert haben.

Beginnend mit einer Modellstudie wurden zunächst die rechtlichen und managementrelevanten Aspekte durch eine weitreichende Literaturstudie ermittelt. Neben den länderspezifischen Regularien und aktuellen Genehmigungsverfahren, wurden auch die relevanten Regularien auf Bundesebene sowie EU Ebene berücksichtigt, die Einfluss auf eine multiple Nutzung nehmen. Durch semi-strukturierte Experteninterviews mit Vertretern aus den verschiedenen Behörden und Betroffenen-Gruppen wurden diese Aspekte ergänzt.

In einem nächsten Schritt wurden die relevanten Stakeholder für eine multiple Offshore-Nutzung identifiziert und zusammengefasst. Die Ermittlung der Akteure erfolgte in einem ersten Schritt innerhalb des Projektes in Zusammenarbeit mit allen Partnern um eine möglichst vollständige Übersicht zu erhalten. Anschließend wurden diese Stakeholdergruppen, bzw. Ihre Interessensvertreter im Rahmen von semi-strukturierten Interviews angesprochen und ihre jeweiligen Perspektiven und Bereitschaft zur Zusammenarbeit in dieser Thematik ermittelt. Parallel hierzu wurden diese entsprechenden Gruppen geordnet, um Schlüsselakteure zu ermitteln, die für eine synergetische multifunktionale Nutzung des Offshore-Raumes von übergeordneter Bedeutung sind.

Mit Hilfe eines Fokusgruppen-Workshops sollen die Teilnehmer des Projektes gemeinsam mit den ermittelten relevanten Akteuren die wesentlichen Potentiale und Hemmnisse einer solchen multifunktionalen Nutzung von Offshore-Windkraft und Aquakultur mit Hilfe einer SWOT Analyse ermittelt. Die aus den Modellversuchen gewonnen Erkenntnisse sollen hierbei einfließen. Dieser Workshop stellt damit auch einen Abschluss des Modellvorhabens dar.

5. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

5.1 Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden

Weltweit existieren kaum kommerzielle Offshore-Aquakultur-Betriebe. Die einzigen bekannten Unternehmen sind Subflex LTD (Subflex 2012) aus Israel, Kampachi Farms, LLC (ehemals Kona Blue Water Farms) auf Hawaii (Kampachifarm 2012), Snapperfarm Inc. auf Puerto Rico und Offshore Shellfish Ltd aus Großbritannien.

Ein Großteil der geplanten Kulturtechniken für Algen und Muscheln basiert auf etablierten Techniken aus der konventionellen Zucht von marinen Spezies, die für den Offshore-Einsatz nur geringfügig modifiziert werden müssen. Für die Produktion von Makroalgen wurde beim AWI auch ein „Algenring“ entwickelt und patentiert der speziell für die Zucht von Makroalgen unter harschen Umweltbedingungen konzipiert wurde.

Aufgrund der harschen Umweltbedingungen, einer Vielzahl technischer und kommerzieller Risiken sowie einer unklaren Genehmigungs- und Rechtslage konnte sich die Offshore-Aquakultur bisher nicht durchsetzen. Im Bereich der Co-Nutzung von Offshore-WEAs durch Aquakultur, speziell in Bezug auf eine Verankerung an den Gründungsstrukturen der Anlage, sind außer den in Abb. 01 beschriebenen keine Forschungsprojekte oder andere Entwicklungen bekannt.

Die bisherigen Aquakulturerfahrungen für die Nordsee begrenzen sich auf biologische und basistechnische Teststudien. Eine Umsetzung von Offshore-Aquakultur im Pilotmaßstab war bisher nicht möglich. Um Testreihen an den Fundamenten der Offshore-WEA's durchzuführen, die momentan gebaut und geplant sind, muss zuerst eine technische Grundlage geschaffen werden, indem das Design der möglichen Aquakulturkonstruktionen aus technischer Sicht geplant und im Modellmaßstab

untersucht wird. Ferner müsste der tatsächliche Ort des späteren Einsatzes im Offshore-Bereich auf seine Site-Selection-Criteria untersucht werden. Dazu gehören neben den technischen Lastuntersuchungen biologische Basisuntersuchungen, die insbesondere auf die Unbedenklichkeit des umliegenden Ökosystems, auf die Fitness der Kandidaten sowie auf die Auswirkung der Aquakultureinheit auf das Ökosystem ausgelegt sein müssten. Die biologischen Untersuchungen sowie der Einsatz unter Realbedingungen im Maßstab 1:1 sollte jedoch von einer vorangehenden landgestützten Untersuchung im Modellmaßstab getrennt werden. Daher wurden die Zielvorgaben in diesem Projekt zunächst auf die Testläufe im Strömungs- und Wellenkanal, den Aquakulturvorgaben für potentielle Kandidaten, Wirtschaftlichkeitsprüfungen und Managementvorschläge sowie nötige Angaben für ein Genehmigungsverfahren begrenzt. Diese unterschiedlichen Untersuchungsansätze waren in ihrer Datenerhebung voneinander abhängig und ergänzen sich gegenseitig (siehe Anhang). Einerseits diente dieses modellbasierte Untersuchungskonzept als KO-Kriterium für den Fall, dass die Ergebnisse darauf hinweisen, dass ein Offshore-Einsatz unrentabel ist, zum anderen wurden allen nötigen Studien, die für eine spätere Erprobung im Offshore-Betrieb nötig sind, beantwortet.

5.2 Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste

Die Auswahl der verwendeten Fachliteratur besteht aus Artikeln rezensierter Fachzeitschriften, aus Monographien und Artikeln grauer Literatur. Diese sind in der in Kapitel 8 aufgeführten Referenzliste dargestellt. Neben diesen Referenzen wurden folgende Datenbanken verwendet: (1) Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts (ASFA) & Oceanic Abstracts, (2) ScienceDirect Navigators, (3) Scirus und (4) Web of Science.

6. Zusammenarbeit mit anderen Stellen/Beteiligte Partner und Institutionen

Um die komplexe multidisziplinäre Aufgabenstellung möglichst umfassend zu bearbeiten wurde ein Konsortium vielseitiger Partner aus Wissenschaft und Industrie gebildet. Beteiligte Forschungsinstitutionen waren das IMARE Bremerhaven, das sich wesentlich mit den biologischen und sozioökonomischen Aspekten des Projektes beschäftigt hat, die Fischereiökonomische Abteilung des Heinrich von

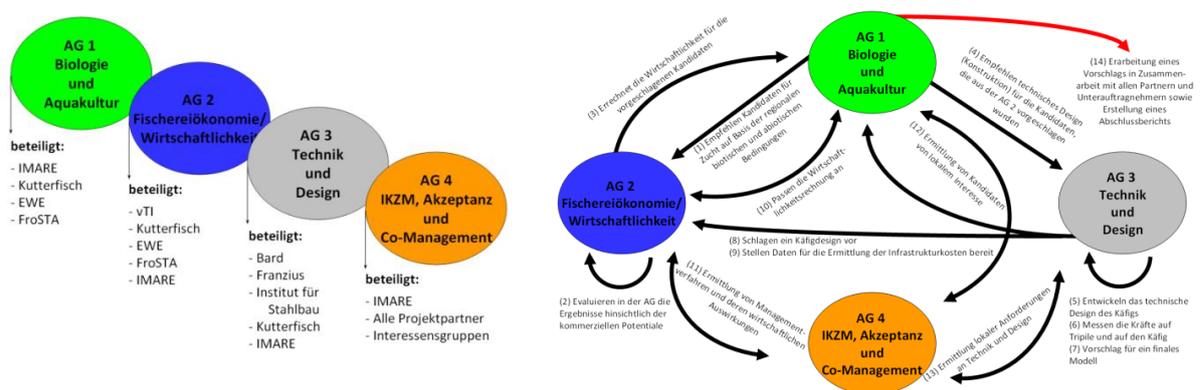


Abbildung 02: Arbeitsgruppen 01-04 und die Beteiligung der jeweiligen Partner sowie die Vernetzung der 4 Arbeitsgruppen

Thünen Institutes Hamburg, sowie das Franzius Institut und das Institut für Stahlbau der Leibniz Universität Hannover, welche mit der technischen Umsetzung des Projektes betraut waren. Industrielle Partner waren die Kutterfisch- Zentrale GmbH, EWE AG, FRoSTA Tiefkühlkost GmbH und BARD Engineering GmbH. Die einzelnen Partner wurden entsprechend ihrer Expertise mit unterschiedlichen

Aufgaben betraut die auf regelmäßigen Projekttreffen aktualisiert und angepasst wurden (Abb. 02). In dieser Abbildung ist auch die enge Vernetzung und Zusammenarbeit unter den einzelnen Arbeitsgruppen dargestellt.

7. Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

7.1 Abschlussbericht der AG 1 - Biologie und Aquakultur: Biologische Kandidatenauswahl für Aquakultur in der Nordsee

Partner: IMARE, Kutterfisch, EWE, FRoSTA

7.1.1 Einleitung

Die konventionelle Erwirtschaftung mariner Nähr- und Rohstoffe kann den menschlichen Bedarf alleine nicht mehr decken. 80 Prozent der Fischbestände sind laut Weltfischereireport der FAO überfischt oder bis an ihre biologischen Grenzen ausgebeutet. Die internationale Lebensmittel- und Rohstoffwirtschaft für marine Produkte ist dieser Überwirtschaftung mit der Entwicklung und dem Betrieb von marinen Aquakulturanlagen begegnet (Info-Box 1). Die kommerzielle Zucht von Meeresorganismen wird weltweit überwiegend in Küstennationen betrieben. Diese marine Aquakultur oder Marikultur konzentriert sich meist auf küstennahe Bereiche oder landgestützte Durchfluss- oder Kreislaufanlagen. Im Meer beschränken sich die Kulturanlagen auf geschützte Gebiete unmittelbar vor der Küste sowie auf den gesamten Inshore-Bereich (Fjorde, Buchten, Rias, Flussmündungen).

Hier werden Käfiganlagen für Fische und Langleinen-, Pfahl-, Floß- und Laternensysteme für die Zucht von Muscheln und Makroalgen betrieben (Beveridge 2004). In vielen Gebieten sind dabei nicht nur die Eingriffe in das umliegende Ökosystem, z.B. durch Verschmutzung mit nicht verwerteten Futterpellets sowie Faeces der Zuchtorganismen oder anderen Stoffen sowie die Veränderung der Biodiversität, von großer Brisanz. Auch die sehr starke Nutzung des Küstenmeeres (z.B. durch Schifffahrt, militärische Nutzung, Tourismus, Fischerei, Naturschutzgebiete und andere schützenswerte Flächen, Besatzmuschelfischerei, Kiesabbau) führt zu wachsenden Raumnutzungskonflikten (z. B. Wirtz et al. 2003, Buck et al. 2004).

Der globale Bedarf an aquatischen Lebensmitteln ist in den letzten Jahrzehnten enorm gestiegen (Abb. 03). Nach Daten der Welternährungsorganisation (FAO) stehen einer Gesamtproduktion aus Fischerei und Aquakultur zu Beginn der 1950er Jahre von etwa 21 Mio. Tonnen über 160 Mio. Tonnen im Jahre 2010 gegenüber. Während die Produktionszahlen aus der Fischerei zunächst bis 1988/89 stetig anstiegen, stagnieren sie seit dieser Zeit oder konnten nur kurzzeitig erhöht werden. Dieses ist neben der Überfischung vieler Meeresgebiete sowohl auf den Einsatz moderner Fangflotten und -techniken zurückzuführen, als auch auf den Fang von Organismen aus niedrigeren Trophiestufen und ein nicht nachhaltiges Management (Pauly et al. 2002). Im Gegensatz dazu steigen die Produktionsmengen aus der Aquakultur bis heute dauerhaft an und haben im Jahr 2010 eine Gesamtmenge von 78 Millionen Tonnen erreicht (FAO 2012). Die Aquakultur erlebt gerade in den letzten drei Jahrzehnten einen auffallend starken Zuwachs, insbesondere die marine Aquakultur Produk-

Info-Box 1:

Marine Aquakultur oder **Marikultur** ist die Zucht und Bewirtschaftung von aquatischen Organismen in marinem oder brackischem Milieu. Dazu zählen Fische, Mollusken (= Weichtiere wie Schnecken, Muscheln, etc.), Crustaceen (Shrimps, Hummer, etc.) und Pflanzen (Mikroalgen, Tange, etc.). Oft handelt es sich um einen Eingriff in den Aufzuchtprozess (regelmäßiger Neubesatz, Fütterung, Schutz vor Räufern, etc...), die zur Erhaltung und Erhöhung der Produktion notwendig sind. Außerdem sind im Gegensatz zur Fischerei die gezüchteten Spezies während des gesamten Lebenszyklus Eigentum einzelner Individuen bzw. Körperschaften.

Aquakultur (intensiv/extensiv/extraktiv):

Intensive Aquakultur ist die kontrollierte Aufzucht von aquatischen Tieren und Pflanzen bei der man dem gezüchteten Organismus Energie zuführt (in der Regel in Form von Nahrung). Damit steht sie der extensiven Aquakultur gegenüber, die aus einem offenen System Energie entzieht wenn die gezüchteten Spezies entnommen werden (extraktive Aquakultur).

tion, welche allein zwischen 2004 und 2010 um ca. 10 Millionen Tonnen gestiegen ist. Die Gesamtproduktion wurde innerhalb von 25 Jahren verachtfacht. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass der Eindruck, Produkte aus der Aquakultur seien ein guter Ersatz für die stagnierenden Mengen aus der Fischerei, äußerst kritisch betrachtet werden muss. Während einige Wissenschaftler der Auffassung sind, bei der stark gewachsenen Aquakultur stamme ein Großteil der in der Fisch- und Shrimpkultur verwendeten Futterpellets aus Fischmehl und -öl und diese seien somit von den Anlandungen aus der Fischerei abhängig, argumentieren andere Experten, dass der Anstieg in der Aquakulturproduktion hauptsächlich auf herbivore Organismen zurückzuführen sei und somit kein zusätzlicher Fischereidruck entstehe.

Die Entwicklungen in der Fischerei sowie der steigende Bedarf an aquatischen Produkten führten weltweit zu einer starken Zunahme von Forschungsaktivitäten im Bereich der Aquakultur. Der Grund dafür ist, dass viele Meeresgebiete, die noch vor Jahren im Rahmen von Fischereiaktivitäten als produktiv galten, heute stark genutzt werden und dadurch keine ausreichende Menge an Meeresprodukten für den gleichzeitig steigenden Bedarf zur Verfügung stehen.

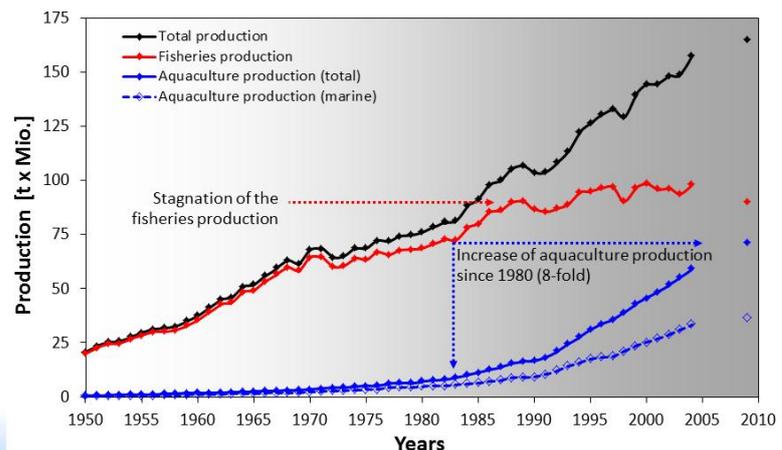


Abb. 03: Produktion der globalen Aquakultur und Fischerei in den Jahren 1950-2010 (FAO 2010).

Obwohl in der deutschen Bucht ausreichend gute biologische Bedingungen für den Betrieb von extensiven Aquakulturen gegeben sind konnte sich eine Meeresmassenzucht aus vielerlei Gründen bisher nicht etablieren. Dazu zählen neben Nutzerkonflikten in den Küstenmeeren und in der ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) auch andere Probleme: die allgemein rauen Umweltbedingungen (starke Strömungsgeschwindigkeiten und hohe Wellen), die geographische und topographische Lage (geringe Wassertiefe, keine geschützten Buchten) und die kommerziellen Potentiale (hoher Personalaufwand) stehen einer konventionellen und kostengünstigen Aquakulturentwicklung entgegen. Ferner fehlt es in Deutschland im Gegensatz zu anderen Ländern an einem aquakulturspezifischen Reglement, klaren Richtlinien und definierten Standards, so dass beispielsweise für die deutsche AWZ keine auf die Zucht von aquatischen Organismen abzielenden rechtlichen Rahmenbedingungen existieren.

Ein Ausweg aus einigen der oben genannten Problematiken bietet eine räumliche Verlagerung in den Offshore-Bereich. Die erwähnten Interessenskonflikte und Problemzonen des Küstenraumes werden vermieden und die Wasserqualität verbessert sich mit dem Abstand zur Küste und den Flussmündungsgebieten. Durch die Verlegung entstehen jedoch neue, andere Anforderungen: die Bereitstellung geeigneter Kulturorganismen, die harte Stürme und starke Strömungen tolerieren, stabile, sichere Techniken in einem moderneren und angepassten Design, die Erreichbarkeit solch ferner Areale und ein durchdachtes Management. Offshore-Kulturen sind in den USA, Kanada und einigen europäischen Ländern zu einer neuen Richtung der Marikultur geworden. Die Schlagwörter, die diese neue Art der Kultivierung von Organismen umschreiben, sind: Offshore, Open Ocean, Far out und Farming the Deep Blue. Bisher haben sich mit diesem Open Ocean Bereich weltweit unterschiedlichste Fachrichtungen beschäftigt, die aus der Biologie, der Geologie, der Aquaristik, der Aquakultur, dem Ingenieurwesen, dem Management, der Logistik und der Sozio-Ökonomie stammen. Vorreiter dieser Technologie sind Projekte aus den USA, wie das so genannte „New Hampshire Open Ocean Aquaculture Demonstration Project“.

In Deutschland ist diese Art der Kultivierung noch neu und wird kommerziell nicht betrieben, sondern eher als „Offshore Vision“ angesehen. Der Begriff „Offshore“ wird hierzulande vorrangig mit den geplanten Offshore-Windparks im Nord- und Ostseeraum in Verbindung gebracht (Info-Box 2). In der Realität wird der Offshore-Bereich von verschiedenen Interessensgruppen schon jetzt vermehrt beansprucht. Durch die rasche Entwicklung der geplanten Windparks entstehen auch in diesem Bereich Probleme in der Nutzung der Nordsee. Aus Sicht der Fischerei werden die befischbaren Gebiete verkleinert, da die Windparkareale, je nach Anzahl und Größe, als Sperrgebiete ausgewiesen werden sollen. Eine mögliche Lösung dieses Flächenkonflikts, auch, die der traditionellen Fischerei Vorteile verschaffen kann, wäre die multifunktionale Nutzung solcher Flächen mit geeigneten Aquakulturtechniken, die die Bewirtschaftung fern der Küste auch für letzteren Wirtschaftszweig rentabel machen und Fischern ein alternatives Einkommen sichern können.

Info-Box 2:

Offshore: Dieses bedeutet küstenfern auf offener See. Ein wichtiger Zusatz für die Betrachtungsweise in dieser Studie ist aber die Exponiertheit gegenüber Umwelteinflüssen wie Wind, Strömung und Wellen.

Offshore-Aquakultur: Weltweit existieren kaum kommerzielle Offshore-Aquakultur-Betriebe. Die einzigen bekannten Unternehmen sind Subflex LTD (Subflex 2012) aus Israel und Kampachi Farms, LLC (ehemals Kona Blue Water Farms) auf Hawaii (Kampachifarm 2012). Aufgrund der harschen Umweltbedingungen und einer Vielzahl technischer und kommerzieller Risiken konnte sich die Offshore-Aquakultur bisher nicht durchsetzen.

Offshore Windenergie Deutschland: Offshore-Windparks (OWP) befinden sich in deutschen Gewässern zum Großteil außerhalb der 12-Seemeilen-Zone, in der ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ). Die meisten der geplanten deutschen Windparks liegen somit in den Hochseegewässern der Nord- und Ostsee. Zum heutigen Zeitpunkt (April 2012) sind in Deutschland Offshore-Anlagen mit einer Leistung von 215 Megawatt (MW) am Netz. Nach den Plänen der Bundesregierung soll bis zum Jahr 2030 eine Leistung von 25.000 MW erreicht werden. Zurzeit sind Anlagen mit circa 800 MW im Bau, OWPs mit einer Gesamtleistung von 9.000-10.500 MW haben bereits eine Genehmigung erhalten und weitere 94 Vorhaben mit 6.600 Offshore-Windenergieanlagen (O-WEA) (30.000 MW) befinden sich in Genehmigungsverfahren. (Offshore-windenergie 2012)

Die Integration dieser beiden Parteien in der Deutschen Bucht wird seit vielen Jahren am Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) sowie im Institut für Marine Ressourcen (IMARE) erforscht. Unterstützt wird das AWI dabei von etwa 50 Partnern aus der Industrie sowie anderen Forschungsinstituten und universitären Einrichtungen.

Durch die Kombination der beiden kostenintensiven Infrastrukturen – Offshore Windparkgründungen und Aquakulturanlagen – sind Baukosten und Aufwendungen für die für die Wartung und den Betrieb der beiden Offshore-Nutzungen geringer als bei einer getrennten Realisierung beider Strukturen.

Durch die Verankerung von Aquakulturanlagen an Offshore-WEAs, insbesondere in der Nordsee, soll eine wirtschaftliche Erschließung eines bisher ungenutzten Meeresgebietes für Aquakulturen ermöglicht werden. Die positiven, synergetischen Effekte einer multifunktionalen Nutzung von Offshore-Windparks durch Aquakulturen müssen in einem Co-Management gebündelt werden, um eine effektive und wirtschaftliche Nutzung zu gewährleisten.

Das Interesse an der Zucht von Fischen im Offshore-Bereich steigt in den letzten Jahren trotz der beschriebenen Probleme stetig (Buck & Krause 2012). Es lassen sich einige Studien zu Zuchtmethoden, System-Designs sowie zu kommerziellen Analysen finden. Es gibt eine Vielzahl von Studien zur Biologie von Fischen in Offshore-Kulturen, allerdings keine die sich direkt mit der Zucht in Kombination mit WEAs befasst. Noch wenig untersucht sind die Aspekte der Tiergesundheit und des Tierschutzes in einer Offshore-Kultur. Dabei lassen sich zwar viele Parallelen zur herkömmlichen Aquakultur ziehen, jedoch verlangen Umweltbedingungen wie starke Strömung und starker Wellengang im Offshore Bereich besondere Beachtung. Um ein besseres Verständnis für die Zusammenhänge von Fischgesundheit und starken hydrodynamischen Kräften zu bekommen, sollten in diesem Vorhaben Untersuchungen durchgeführt werden, die das Verhalten der Tiere in einem Kreislaufsystem beobachten, in dem Strömungen simuliert werden die den exponierten Bedingungen Offshore nahe kommen.

7.1.2 Methoden der Kandidatenauswahl

Im August 2010 hat die AG 1 (Biologie und Aquakultur) damit begonnen mögliche Kandidaten für die kommerzielle Offshore Aquakultur in verschiedenen geographischen Zonen Europas zu identifizieren. Die erbrachten Ergebnisse wurden der AG 2 (Fischereiökonomie/Wirtschaftlichkeit) zur Prüfung auf Rentabilität vorgelegt. Im Folgenden werden die Kriterien für die Kandidatenauswahl kurz dargestellt und erläutert.

Um eine möglichst vollständige Liste aller in Aquakultur produzierten Fischarten zu erhalten wurde die Statistikdatenbank der FAO über die globale Aquakulturproduktion von 1950 - 2008 genutzt (FAO 2011). Zur Vermeidung einer möglichen Faunenverfälschung wurde mithilfe der von Fishbase (2012) angegebenen Verbreitungsdaten eine Vorauswahl aller Kandidaten vorgenommen, deren natürliches Vorkommen in der deutschen Nordsee als gesichert gilt. Im nächsten Schritt wurde jede potentielle Art hinsichtlich ihrer Toleranz gegenüber den in der deutschen Bucht vorherrschenden abiotischen Umweltfaktoren Temperatur und Salinität (Tab. 1) untersucht. Obwohl auch andere abiotische Umweltfaktoren, wie z.B. Strömungsintensität, Sauerstoffsättigung, Verschmutzungsgrad und Sedimentfracht entscheidend für die erfolgreiche Zucht von aquatischen Organismen sind (Rensel et al. 2007), wurden diese Parameter nur in den Fällen behandelt, wosie von besonderer Relevanz für eine bestimmte Art waren. Um kontinuierliche Produktionsbedingungen zu gewährleisten, wurde der Status der Aquakultur für jede Art betrachtet und hinsichtlich der Kontrolle über verschiedene Lebensstadien analysiert (Gewinnung von befruchteten Eiern, Larvenproduktion, Auswuchsphase). Als geeignete Kandidaten wurden nur Arten charakterisiert, die die nötigen biologischen Voraussetzungen für eine intensive Offshore-Aquakultur in der Nordsee aufweisen.

Obwohl das Hauptaugenmerk der Kandidatenevaluation auf der dem Bereich der Nordsee lag wurden abschließend auch weitere Gebiete untersucht, welche potentiell für eine Aquakultur als Co-Nutzung in Windparks geeignet sind.

7.1.3 Methoden zu Untersuchungen des Fischverhaltens im Käfigmodell unter Strömungseinfluss

Um die Reaktion der Kulturtiere auf die extremen Umweltbedingungen in der Nordsee zu untersuchen, war geplant, neben dem Einfluss der Wellen auf das Material, auch die Auswirkungen auf die Fische im Wellenkanal zu untersuchen. Diese Untersuchungen konnten aufgrund verschiedener Tierchutz-Aspekte nicht wie geplant durchgeführt werden. Unter anderem waren die Wasserqualität und Wasseraufbereitung im Wellenkanal nicht ausreichend für die Haltung von aquatischen Lebewesen. Alternativ wurde ein Käfigmodell des Franzius-Instituts in einer Kreislaufanlage im Zentrum für Aquakulturforschung in Bremerhaven installiert um den Strömungseinfluss auf Fische im Käfigmodell zu prüfen.

Als Käfigmodell wurde das Zylindermodell (1:40), welches im Franzius-Institut für die Kräftemessungen angefertigt wurde, genutzt. Als Versuchsfisch wurden juvenile Steinbutte mit einem Durchschnittsgewicht von ca. 10g gewählt. Diese Größe würde gemäß dem skalierten Käfig ausgewachsenen Steinbutts gleich kommen. Die Fische wurden im Käfigmodell für mehrere Stunden aklimatisiert (Abb. 04) und dann kurzfristig einer Strömung ausgesetzt. Die Strömung wurde mit einer Aquarien-Strömungspumpe (Hydor Koralia magnum 5) simuliert, die einen Volumenstrom von ca. 6500l/h und eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit von ca. 0,9m/s an der Ausströmöffnung erzeugt. Die Pumpe wurde in verschiedenen Abständen vom Fischkäfig (25, 50, 100cm) befestigt. Die Fische wurden abhängig von der Reaktion für einen kurzen Zeitraum der Strömung ausgesetzt, ihr Verhalten wurde beobachtet und mithilfe von Foto- und Filmaufnahmen dokumentiert.

7.1.4 Ergebnisse und Diskussion der biologischen Kandidatenevaluation

Wie die Aufstellung der abiotischen Faktoren (Tab. 1) zeigt, liegt die Sauerstoffsättigung in der Nordsee durchgehend bei 100% und stellt daher keinen limitierenden Faktor für potenzielle Zuchtorganismen dar. Auch die Salinität unterliegt nur äußerst geringen Schwankungen und ist mit Werten von 31,5 ‰ bis 34,75 ‰ als voll marin zu betrachten.

Tabelle 1.: Vorherrschende abiotische Umweltfaktoren in der deutschen Nordsee (Nach Buck 2002)

Abiotische Umweltfaktoren	Minimum	Maximum
Temperatur	3 °C	22°C
Salinität	31,5 ‰	34,75 ‰
Sauerstoffsättigung	100%	100%

Der limitierende Faktor für die meisten Fischarten ist die starke Temperaturvarianz in der Nordsee die zwischen < 6°C und > 21°C liegt (Abb. 05). Die aussichtsreichsten Kandidaten wurden eingehend betrachtet. Die wichtigsten Erkenntnisse zum aktuellen Stand der Kulturtechnik und die Eignung für eine Kultur in der Nordsee sind im Folgenden dargestellt (siehe Auch Tab. 02 und 03).

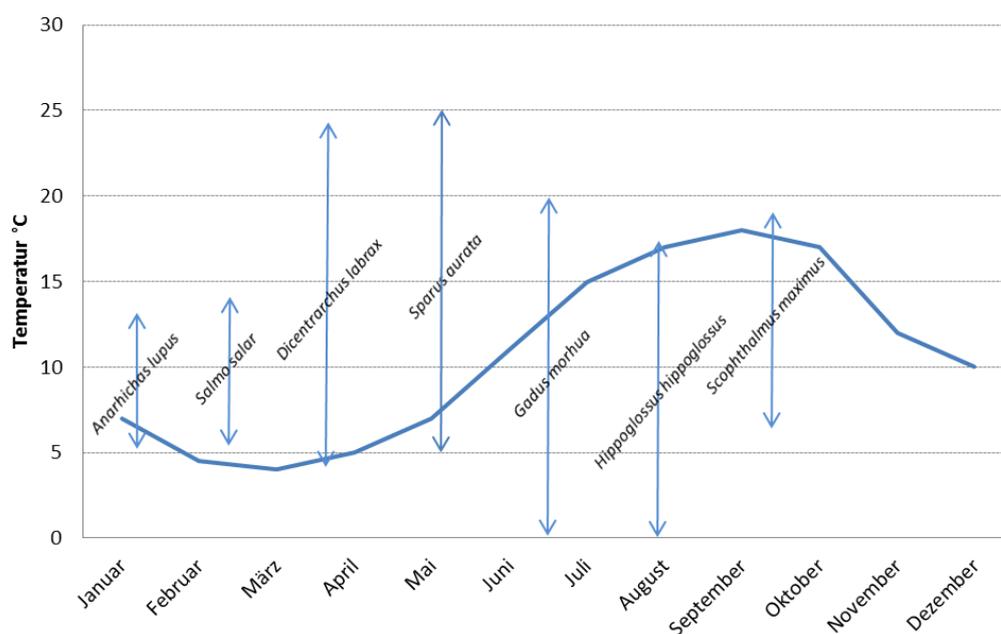


Abb. 04: Tagesmittelwerte der Temperaturen im Jahresverlauf 2009 in der deutschen Bucht; Pfeile indizieren Temperaturtoleranzbereich ausgewählter Kandidaten

Anarhichas lupus (Gestreifter Seewolf): Das Aquakulturpotential des gestreiften Seewolfs ist ähnlich wie das des gefleckten Seewolfs *Anarhichas minor* in allen Lebensstadien gut erforscht. Beide Arten sind relativ unkompliziert zu produzieren, da die Larven direkt nach dem Schlüpfen mit künstlicher Nahrung gefüttert werden können und so eine kostengünstige Produktion von Setzlingen möglich machen. Dennoch ist der gestreifte Seewolf nicht geeignet für die kommerzielle Aquakultur, da er nur geringe Wachstumsraten aufweist. (Pavlov & Novikov 1993, Moksness 1994, Moksness et al. 2004).

Anarhichas minor (Gefleckter Seewolf): Der gefleckte Seewolf ist ein vielversprechender Kandidat für die Aquakultur in kalten Gewässern. Er weist im Gegensatz zu *Anarhichas lupus* hohe Wachstumsraten bei niedrigen Temperaturen auf und kann bei einer Temperatur von weniger als 7°C innerhalb von 2 Jahren nach dem Schlüpfen ein Gewicht von 5kg erreichen (Moksness 1994). Für die Produktion in der Deutschen Nordsee scheint er jedoch nicht geeignet, da die optimale Temperatur für die Zucht dieser stenothermen Art zwischen 4°C und 10°C liegt (Moksness et al. 2004), diese Temperatur wird in der Deutschen Bucht über weite Zeiträume des Jahres überschritten. Besonders interessant bei dieser Spezies sind jedoch die Nebenerzeugnisse die sich aus dem Seewolf gewinnen lassen, wie z. B. Antifreeze-Proteine (Le Francois 2011).

Anguilla anguilla (Europäischer Aal): Obwohl der europäische Aal als katadrome Spezies im Süßwasser, wie auch im Salzwasser produziert werden kann, ist die Aufzucht im Meer ungebräuchlich und wird nur in geringem Umfang bei der sogenannten Vallikultur im Mittelmeer angewandt (FAO 2004a). Außerdem ist die Produktion des europäischen Aals vom Wildfang der juvenilen Glasaale abhängig und würde daher diesen stark überfischten Bestand zusätzlich belasten (ICES 2011). Für eine Aufzucht unter intensiven Bedingungen ist diese Art daher nicht geeignet.

Dicentrarchus labrax (Wolfsbarsch): Der europäische Wolfsbarsch ist mit einer Produktion von über 60.000 t jährlich eine der in Europa meist gezüchteten marinen Fischarten. Daher ist diese Fischart in allen Lebensstadien gut erforscht. Die gängigste Produktionsmethode für diese Art ist eine intensive Produktion, bei der die Auswuchsphase in küstennahen Oberflächenkäfigen stattfindet (FAO 2005a). Es wurde auch die erfolgreiche Haltung unter stärker exponierten Bedingungen in flexiblen Oberflächenkäfigen im Mittelmeer demonstriert und wird standardmäßig beispielsweise vor der Küste Malta angewendet (Sturrock et al. 2008).

Obwohl der europäische Wolfsbarsch beinahe ausschließlich im Mittelmeer produziert wird, erscheint eine Aufzucht in der deutschen Nordsee möglich, da diese eurytherme Spezies fähig ist auch niedrige Temperaturen bis unter 5°C zu tolerieren und sogar in Küstenlagunen des Mittelmeeres überwintern kann (FAO 2005a). Es ist jedoch davon auszugehen, dass die niedrigeren Temperaturen in der Nordsee die Auswuchsphase für diese Spezies stark verlängern würde. Mit ca. 10°C Durchschnittstemperatur (Wiltshire & Manly 2004) unterschreiten die vorherrschenden Temperaturen in der Nordsee, den optimalen Temperaturbereich dieser Spezies bei weitem, welcher bei ca. 22-28°C liegt (Lanari et al. 2002). Da es für solch niedrige Temperaturbereiche keine Produktionsdaten gibt und auch bei Wachstumsversuchen im Labor Temperaturen von 15°C meist nicht unterschritten wurden (siehe z.B. Hidalgo et al. 1987, Peres & Oliva-Teles 1999) ist eine Berechnung der Auswuchsphase nur durch Wachstumsmodelle möglich. Um eine grobe Annäherung an die tatsächliche Länge der Auswuchsphase zu erhalten kann man ausgehend von dem Wachstumsmodell von Lanari et al. (2002) und dem Jahrestemperaturverlauf in der Deutschen Bucht eine ungefähre Abschätzung erstellen (Angaben der BSH-Messstation Deutsche Bucht, Tiefe 10 m, Tagesmittelwerte des Jahres 2009, www.bsh.de). Dem Modell zufolge würde ein ca. 3 Gramm schwerer Setzling bis zu einem Erntegewicht von 300g ca. 31 Monate benötigen. Dieses Zeitfenster übersteigt das der Produktion dieser Art in Netzkäfigen des Mittelmeeres um 4-8 Monate (FAO 2005a).

Da *D. labrax* zu den physoclisten Fischarten zählt (Fischarten bei denen die Schwimmblase vollständig geschlossen ist und ein Druckausgleich nur langsam über Gasaustausch vonstattengeht), dürfte man den Käfig nicht aus der tiefsten Position direkt an die Oberfläche ziehen, da dies Barotraumata der Schwimmblase zur Folge haben könnte. Um diesem Problem entgegen zu wirken ist es jedoch möglich, ähnlich wie bei Tauchern, ausreichende Pausen im Aufstieg bzw. Abstieg einzulegen. Dies wurde bereits erfolgreich für andere physocliste Fischarten demonstriert (Korsøen et al. 2011).

Gadus morhua (Kabeljau): Die beiden gebräuchlichsten Trivialnamen für diese Art in Deutschland sind Dorsch und Kabeljau, wobei die Ostseebestände und auch juvenile nicht geschlechtsreife Individuen als Dorsch bezeichnet werden und die geschlechtsreifen Fänge aus der Nordsee als Kabeljau in den Handel kommen. Einhergehend mit sinkenden Wildfängen hat die potentielle Aufzucht dieser

Art besonders in Norwegen, Nordamerika und dem Vereinigten Königreich großes Forschungsinteresse hervorgerufen (Moksness et al. 2004). Bereits in den frühen Achtziger Jahren wurde die intensive Produktion dieser Fischart realisiert, obwohl wegen der geringen Größe der geschlüpften Larven strikte Fütterungsprotokolle zu befolgen sind und diese Art die Produktion von Lebendfutter verschiedener Größen erfordert (Moksness et al. 2004). Die Auswuchsphase dieser Spezies gestaltet sich relativ unkompliziert und findet üblicherweise in ähnlichen Netzkäfigen statt, wie sie auch für die Lachsproduktion verwendet werden. Wegen tendenziell geringer Fangmengen der letzten Jahre wurden besonders in Norwegen viele Produktionsstätten für diese Art geschaffen, die jedoch aufgrund starker Preisschwankungen nicht immer rentabel arbeiten konnten (pers. Komm. Michael Fülberth, Atlantic Cod Farms AS).

Mit einem extremen Temperaturtoleranzbereich von -1°C bis 23°C und einem optimalen Temperaturbereich von 8°C bis 12°C (Jobling 1988) entsprechen die Anforderungen diese Art den Lebensbedingungen in der Deutschen Bucht sehr gut. Auch alle anderen abiotischen Umweltfaktoren liegen innerhalb der Toleranz dieser Spezies.

Die Eignung zur Offshore Aquakultur wurde schon erfolgreich in 3.000m^3 großen absenkbaren Käfigen der Firma Sea Station™ vor der Küste New Hampshires demonstriert (Chambers & Howell 2006). Dabei wurden automatische Fütterungsbojen mit einer Kapazität von einer Tonne verwendet. Wie schon für *D. labrax* bemerkt muss bei physoclisten Fischarten auf ausreichende Pausen bei vertikalen Bewegungen des Käfigs geachtet werden (Korsøen et al. 2011).

Als ein großes Problem bei der Aufzucht von Dorsch in Netzkäfigen wird die Fähigkeit dieser Fische gesehen sich durch die verschiedensten Netzmaterialien hindurch zu beißen und selbst kleinste Öffnungen zur Flucht zu nutzen. Schätzungen haben ergeben, dass die Rate der entkommenen Dorsche um ein vielfaches höher ist als für andere Fischarten wie beispielsweise für Lachs (Jensen et al. 2010). Da sich diese entkommenen Dorsche (Escapes) mit wilden Populationen kreuzen können, könnte es potentiell zu negativen Auswirkungen auf die Entwicklung des natürlichen Dorschbestandes kommen. Gerade in Gebieten wie der Deutschen Nordsee, in denen wilde Dorschbestände ohnehin stark dezimiert sind, wird die Gefahr von negativen Auswirkungen als höher eingestuft (Davies et al. 2008).

Von allen gadoiden Arten wird dem Dorsch das größte Potential für die zukünftige Aquakulturentwicklung zugerechnet und manche Wissenschaftler gehen davon aus, dass innerhalb der nächsten 15-20 Jahren ähnlich hohe Produktionslevel wie beim atlantischen Lachs erreicht werden können (Rosenlund & Skretting 2006).

Gespräche mit Fischfarmern aus Norwegen (pers. Komm. Michael Fülberth, Atlantic Cod Farms AS) lassen allerdings vermuten, dass die relativ hohen Sommertemperaturen in der Deutschen Bucht ein mögliches Hemmnis für die Produktion in der Nordsee darstellen, da bei dieser Art das Risiko einer Infektion mit bakteriellen Fischpathogenen wie beispielsweise *Franciscella spec.* oder *Aeromonas salmonicidae* bei länger anhaltenden Temperaturen über 12°C deutlich steigt.

Hippoglossus hippoglossus (Atlantischer Heilbutt): Der Atlantische Heilbutt bietet bei näherer Betrachtung eine Vielzahl von Eigenschaften, die ihn zu einem exzellenten Aquakulturkandidaten machen. Er ist gegen diverse gängige Fischkrankheiten resistent und verwertet die ihm dargebotene Nahrung sehr effizient. Die Fleischqualität ist dank der festen Textur und der langen Haltbarkeit als sehr hoch einzustufen (Daniels & Watanabe 2010).

Trotz großer Schwierigkeiten in der Produktion von Setzlingen, die vor allem mit der richtigen Zusammensetzung des Lebendfutters nach der Dottersackphase und einem exakten Temperaturregime zusammenhängen, wurden bereits 2001 weltweit ca. 950.000 1-5g schwere Juvenile unter intensiven Produktionsbedingungen gezüchtet (Moksness et al. 2004). Daher kann die intensive Produktion dieser Art zum heutigen Zeitpunkt als etabliert gelten. Seit dem Jahr 2000 ist eine starke Reduktion der Zahl von kleinen semi-intensiv arbeitenden Speisefischproduzenten und die Tendenz hin zu we-

nigen größeren industriell arbeitenden Intensiv-Produzenten zu beobachten (Harboe & Adoff 2005). Die Auswachsphase des Atlantischen Heilbutts findet entweder in land-basierten Tanks oder Rinnen statt, oder kann in Netzgehegen im Meer vorgenommen werden (Daniels & Watanabe 2010). In Norwegen, Kanada, wie auch in Schottland wird Heilbutt üblicherweise in modifizierten Oberflächenkäfigen gezüchtet, welche auch für die Produktion anderer Fischarten, wie z.B. Lachs verwendet werden. Der wichtigste Unterschied zu den Käfigen, wie sie für pelagische Fische genutzt werden, ist die Bereitstellung ausreichender Auflagefläche, was in der Praxis meist eine Verstärkung des Käfigbodens durch erhöhte Spannung des verwendeten Netzes und eine maximale Maschenweite am Boden von ca. 15 mm zur Folge hat (Daniels & Watanabe 2010). Für die Vergrößerung der maximalen Ablagefläche können zusätzliche Flächen in Regalform eingebaut werden. In Norwegen wurde für den Heilbutt ein spezieller Käfig entwickelt, der vier Regalsysteme in der Mitte des Käfigs aufweist. Dieser erlaubt es, die Haltungsdichte pro Quadratmeter um ein Vielfaches zu erhöhen. Auch der Gebrauch von abtauchbaren Käfigen wurde für Heilbutt erfolgreich demonstriert (Howell & Chambers 2005, Daniels & Watanabe 2010). Howell & Chambers (2005) beobachteten im Gegensatz zu anderen Autoren zwar leicht verringerte Wachstumsraten (wahrscheinlich wegen der sehr kalten Temperaturen in den Gewässern vor der Küste New Hampshires), jedoch stimmen sie in der Einschätzung überein, dass gerade für die Zucht dieser Art absenkbare Käfige entscheidende Vorteile im Verhältnis zu Oberflächenskultur bieten, da so die saisonal zu hohen Wassertemperaturen an der Oberfläche umgangen werden können und auch die Einwirkung von UV-Strahlen vermindert werden kann. Die optimale Temperatur zu Aufzucht von Heilbutt sinkt mit der Größe des Fisches, während die maximale Besatzdichte mit der Größe des Fisches steigt (Tab. 02). Die maximal tolerierbaren Temperaturen für den atlantischen Heilbutt werden von -1,3 bis ca. 18-20°C (je nach Sauerstoffsättigung des Wassers) beziffert (Daniels & Watanabe 2010). Obwohl die Sauerstoffsättigung in der Deutschen Bucht generell sehr hoch ist (Tab. 1) erreichen auch unterhalb von 10 m Tiefe die Temperaturen in manchen Jahren Werte, die den Heilbutt an die Grenzen seiner physiologischen Belastbarkeit bringen. Bei der Standortwahl ist deshalb sowohl auf eine ausreichende Sauerstoffzufuhr, wie auch auf ein gemäßigtes Temperaturregime zu achten. Besonders zu beachten ist außerdem, dass Heilbutt sensibel auf starke Strömungen und Turbidität reagiert, ein Fakt dem bei der Auswahl eines geeigneten Standortes eine wichtige Bedeutung beigemessen werden muss.

Tabelle 02: Zusammenhang zwischen Gewicht, Besatzdichte und dem Optimalen Temperaturbereich beim atlantischen Heilbutt (*Hippoglossus Hippoglossus*). Modifiziert aus Daniels & Watanabe 2010.

Gewicht (g)	Besatzdichte (kg/m ²)	Optimaler Temperaturbereich (°C)
0-10	5	11-14
11-20	10	11-14
21-50	15	11-13
50-150	20	11-13
150-400	30	10-12
400-1000	40	9-11
1000+	50	7-11

Melanogrammus aeglefinus (Schellfisch): Der Schellfisch gehört zur Familie der dorschartigen (Gadoidae) und ist ein geschätzter Speisefisch in Europa und Nordamerika. Da die Wildfänge dieser Art stagnieren, wird der Schellfisch von vielen als interessanter Aquakulturkandidat gesehen (Moksness et al 2004). Besonders in Kanada und den USA wurde das Aquakulturpotential dieser Spezies gut

erforscht. Obwohl die Mortalität in einigen Entwicklungsstadien, wie beispielsweise der Metamorphose von der Larve zum Juvenilstadium noch im Jahr 2000 relativ hoch war (Moksness et al. 2004), sind stetige Produktionserfolge zu verzeichnen. Aufgrund der Zusammenarbeit einer großen kommerziellen Lachsproduktion (Heritage Salmon Limited) mit verschiedenen kanadischen Forschungslaboren wurden in den letzten Jahren große Fortschritte im Management des Elterntierbestandes, der Larvalernährung, sowie den Auswachsmethoden erzielt (Chambers & Howell 2006). Insbesondere in Verbindung mit abtauchbaren Offshore-Käfigen hat sich die Produktion von Schellfisch als äußerst vielversprechend erwiesen und diese Art hat laut Chambers & Howell (2006) in einer 600m² Sea Station gute Wachstumsergebnisse bei den gegebenen Temperaturbedingungen vor der Küste New Hampshire erzielt. Obwohl er im ersten Jahr ähnlich hohe Wachstumsraten erzielt wie Dorsch, fällt der Schellfisch danach leicht zurück und sein Wachstumspotential über längere Zeiträume muss als geringer eingestuft werden als beim Dorsch (Treasurer 2006). Weiterhin ergeben sich bei dieser Art ähnliche Probleme in Bezug auf die Fähigkeit dieser Fische, enge Maschen zu penetrieren (Özlibilgin & Glass 2004). Auch beim Schellfisch muss als physocliste Fischart besonders auf die Vermeidung eines Barotraumas durch zu schnelle Druckveränderungen bei Vertikalbewegungen des Käfigs geachtet werden.

Merluccius merluccius (Seehecht): Der Seehecht ist eine weitere gadoide Art. Er ist ein beliebter Speisefisch auf den europäischen Fischmärkten, jedoch gibt es trotz sinkender Fänge bis dato keinerlei kommerzielle Unternehmung, diese Art zu produzieren. Obwohl das Aquakulturpotential dieser Art seit 1996 in Norwegen untersucht wird und auch anfängliche Erfolge erzielt wurden (Bjelland 2001) ist der Seehecht relativ weit davon entfernt unter intensiven Bedingungen kommerziell produziert zu werden.

Pagellus bogaraveo (Rote Fleckbrasse): Im Zuge der stark gestiegenen Produktion des europäischen Wolfsbarsches und der Dorade und der damit verbundenen zunehmenden Sättigung des europäischen Marktes verstärkten sich Bestrebungen neue Kandidaten für die Aquakultur im Mittelmeer einzuführen (Abellan & Basurco 1999). Daher begann man bereits Anfang der neunziger Jahren mit der Forschung über die potentielle Aufzucht der Roten Fleckenbrasse (Peleteiro et al. 2000). Obwohl Forschungsprojekte über das Kulturpotential dieser Spezies in Griechenland, Italien und auch in Spanien bestehen ist die Kultur dieser Spezies bis heute nicht auf kommerzieller Basis etabliert worden (Abellan and Basurco 1999). Zudem haben neuere Ergebnisse über das Wachstumspotential dieser Spezies ergeben, dass sie im Verhältnis zu anderen nah verwandten Arten, wie beispielsweise *Sparus aurata* und *Diplodus puntazzo*, weniger effizient in der Nahrungsverwertung ist und daher langsamer wächst (de Otavio et al. 2009).

Pagellus erythrinus (Rotbrasse): Die Rotbrasse wird ähnlich wie *P. bogaraveo* als ein möglicher Kandidat gesehen, um die Diversifikation der Aquakultur im Mittelmeer voranzutreiben. Basierend auf den für die Aufzucht von *Sparus aurata* entwickelten Lebendfutterzusammensetzungen wurden Larven von *P. erythrinus* erfolgreich aufgezogen und anschließend in Käfigkultur gehalten (Klaoudatos & Klaoudatos 2004). Die Mortalität zwischen Schlupf und Metamorphose ist noch extrem hoch, und lediglich 6,3% der Larven überleben. Daher ist es nötig spezialisierte Fütterungsprotokolle für diese Art zu entwickeln, sowie die generellen Haltungsbedingungen (Temperatur, Haltungsdichte etc.) genauer zu erforschen. Obwohl das Aquakulturpotential dieser Art als sehr hoch einzuordnen ist und auch die Möglichkeit zur intensiven Haltung gegeben scheint, ist diese Spezies zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht reif für eine Massenproduktion unter intensiven Bedingungen (Klaoudatos et al. 2004)

Platichthys flesus (Flunder): Obwohl die Flunder als Speisefisch geschätzt ist und eine wichtige Spezies der Dänischen und Holländischen Trawl-Fischerei darstellt (FAO 2004c), sind die Bemühung für eine kommerzielle Aquakultur dieser Spezies relativ eingeschränkt und Literatur über die Aufzucht ist rar. Hauptsächlich wurde diese Art bis jetzt für eine Zucht zur natürlichen Bestandsicherung in Betracht gezogen. Daher konnte keine relevante Literatur über die Intensive Haltung dieser Art gefun-

den werden. Jedoch wurde die Semi-extensive Zucht unter Ausnutzung natürlicher Planktonblüten in Dänemark demonstriert (Engell-Sørensen et al. 2004).

***Pollachius pollachius* (Pollack):** Bereits im Jahr 2000 wurde basierend auf Studien zum Konsumenten- und Produzentenbedarf der Pollack oder Steinköhler als ein hoffnungsvoller Aquakultur Kandidat für die französische Atlantik- und Nordseeküste identifiziert (Suquet et al. 2000, Person-Le Ruyet et al. 2006). Obwohl der Lebenszyklus dieser Art schnell geschlossen wurde, gibt es weltweit nur eine einzige kommerzielle Produktionsstätte für den Steinköhler (Rosenlund & Skretting 2006). Im Jahr 2003 wurden dort ca. 200t marktreifer Fisch und ca. 200 000 juvenile Fische produziert.

***Scophthalmus maximus* (Steinbutt):** Der Steinbutt ist ein sehr beliebter Speisefisch in Europa und einer der wertvollsten Speisefische des Nordost-Atlantiks. Nach anfänglichen Problemen in der Larvenproduktion, die auf eine unzureichende Qualität von gezüchteten Lebendfutterorganismen zurückzuführen ist, sind intensive Produktionsmethoden in allen Lebensstadien für diese Art seit den 90er Jahren etabliert (Moksness et al. 2004).

In der heutigen Zeit findet die Auswuchsphase von Steinbutt weltweit vor allem in landbasierten Rezirkulationssystemen statt. Dort kann er in sehr hoher Besatzdichte bei optimalen Parametern gehalten werden (Daniels & Watanabe 2010). Auch die Kultur in Oberflächenkäfigen, beziehungsweise abtauchbaren Käfigen, wurde erfolgreich demonstriert. Absolute Voraussetzung dafür sind jedoch moderate Strömungsgeschwindigkeiten und ein konstantes Temperaturregime (Daniels & Watanabe 2010). Da das Wachstum von Steinbutt unter 14°C und oberhalb von 20°C rapide abnimmt und diese Art sogar unter 8°C beziehungsweise über 22°C die Nahrungsaufnahme einstellt, sind die in der deutschen Bucht herrschenden Temperaturbedingungen nicht ganzjährig als optimal zu bezeichnen (Person-Le Ruyet 2002, Daniels & Watanabe 2010). Ein weiteres Problem bei der Aufzucht dieser Art besteht aufgrund der durch den Tidenhub bedingten Strömungsgeschwindigkeiten von bis zu 1,2m/s (Buck 2002). Sie könnten bei der Auswahl geeigneter Standorte für diese Art eine wichtige Rolle spielen.

***Salmo salar* (Atlantischer Lachs):** Mit einer jährlichen Produktion von 1.244.637 t (Bilio 2008) ist der Atlantische Lachs die im Meerwasser bei weitem meist produzierte Art. Obwohl es sich bei *S. salar* um eine anadrome Spezies handelt, die auch einen Teil ihres Lebens im Süßwasser verbringt (FAO 2004d), ist der Atlantische Lachs ein hervorragender Aquakulturkandidat für marine Gewässer und weißt bei Salinitäten zwischen 33 und 34‰ seine höchste Wachstumsrate auf. Genau wie in der Natur verbringt der Lachs auch in der Zucht sein Larval- und das erste Juvenilstadium (Parr) im Süßwasser, bis er schließlich im Smoltstadium (Smoltifikation) ans Meerwasser adaptiert wird (Folmar & Dickhoff 1980). Aufgrund langjähriger Forschungsarbeiten in Europa (hauptsächlich Norwegen) und in Nordamerika (hauptsächlich Kanada), gibt es wohl keine andere Art, deren Aquakulturpotential so gut erforscht wurde. Daher ist seit langer Zeit eine intensive Produktion in allen Lebensstadien möglich (FAO 2004d). Besonders im Larvalstadium unterscheidet sich der Atlantische Lachs von vielen anderen Arten, welche ihre Auswuchsphase im Meer verbringen. Da es möglich ist, die relativ großen Larven direkt mit Trockenfutter zu füttern und nicht komplizierte Lebendfütterungsprotokolle wie zum Beispiel für Dorsch und Dorade befolgt werden müssen (Boghen 1991), ist dieser Schritt der Produktion wesentlich kostengünstiger als bei anderen Fischarten. Außerdem ist es in Folge der langjährigen Domestizierung gelungen das Wachstum dieser Art durch Selektion signifikant zu steigern (z.B. Fleming et al. 2002). Der Temperaturbereich für die Haltung dieser Art wird mit 6-16°C angegeben (FAO 2004d), die zum Wachstum optimalen Temperaturen liegen zwischen 8 und 12°C (Boghen 1991). Obwohl die Temperaturminima und Maxima dieser Art in der deutschen Nordsee leicht unter bzw. überschritten werden ist der Atlantische Lachs unter biologischen Gesichtspunkten für die Haltung in der deutschen Bucht geeignet.

***Salmo trutta trutta* (Meerforelle):** Wie bei allen Salmoniden finden die ersten Lebensstadien der Meerforelle im Süßwasser statt, bevor sie ins Meerwasser wandern kann. Nach dem Atlantischen Lachs und der Regenbogenforelle *Oncorhynchus mykiss* ist die Meerforelle die am häufigsten produ-

zierte Salmonidenart in Europa (Bilio 2008). In Norwegen wird sie unter sehr ähnlichen Produktionsbedingungen gehalten wie der Atlantische Lachs. Generell sollten die Temperaturen bei der Haltung 18°C nicht überschreiten (Lucas and Southgate 2003).

Salvelinus alpinus (Seesaibling): Der Seesaibling ist in weitere salmonide Art, die sich im Verlauf ihres Lebenszyklus in marinen Gewässern aufhalten kann. Sowohl norwegische als auch kanadische Studien belegen, dass dieser Art bis ca. 32‰ Salzgehalt über längere Zeiträume gehalten werden kann. Dennoch hat sich diese Art der Aufzucht nicht durchgesetzt, weil die Adaptation an Meerwasser beim Saibling wesentlich schwieriger ist, als bei Atlantischem Lachs und Meerforelle. Sowohl die hohe Mortalität, als auch langsameres Wachstum sprechen gegen eine Aufzucht im Meer (Boghen 1991).

Solea solea (Seezunge): Da die Seezunge eine der wertvollsten marinen Fischarten ist, datieren die Aquakulturbemühungen für diese Art zurück bis ins 19. Jahrhundert. Jedoch erst in den sechziger Jahren des 20. Jahrhunderts konnte unter Aufzuchtbedingungen die Massenproduktion von Juvenilen demonstriert werden. Nach heutigen Maßstäben ist die larvale Aufzuchtphase bei der Seezunge mit hohen Überlebensraten relativ leicht zu realisieren, da auf viele Anreicherungsschritte des Lebendfutters, welche bei anderen Arten notwendig sind, verzichtet werden kann. Somit ist es möglich, Larven mit einer Überlebensrate von über 75 % zu produzieren. Die Überlebensrate ist jedoch, obgleich einer der wichtigsten Parameter in der Aquakultur jeder Fischart, nicht das alleinige Kriterium für eine erfolgreiche Aufzucht. Viele Studien diskutieren eine mögliche Verbindung zwischen der Lipidqualität in der Larval-Ernährung und der starken Temperatursensitivität in späteren Entwicklungsstufen. In der Aufzucht von Seezungen nach der Larvalphase gibt es insbesondere bei der Zusammensetzung von Futtermitteln große Probleme und wenig gesicherte Informationen über ihr Wachstumspotential. Jedoch können durch Extrapolation von experimentellen Daten Annahmen getroffen werden, die ungefähre Prognosen zulassen. Laut Moksness et al (2004) könnte die Seezunge ihr minimales Marktgewicht von ca. 125 g bei einem Anfangsgewicht von 5 g unter optimalen Temperaturbedingungen von 18-20°C in weniger als 300 Tagen erreichen. Jedoch ist selbst diese extrem langsame Wachstumsrate noch nie bei Fischen erzielt worden, die mit gängigen Futtermischungen gefüttert wurden. Zusätzlich zu den großen Problemen bei der Fütterung werden die Haltungsbedingungen dieser Art durch die Sensitivität gegenüber hohen Haltungsdichten erschwert. Nach Schram et al. (2006) korreliert bei der Seezunge die Haltungsdichte signifikant positiv mit der Mortalitätsrate und signifikant negativ mit der Wachstumsrate. Die Autoren empfehlen eine Besatzdichte von 7,4 kg/m² nicht zu überschreiten. Aufgrund der vielen Unwägbarkeiten bei der Produktion dieser Art, in Bezug auf Ernährung, Besatzdichte und Temperaturregime, muss daher zum jetzigen Zeitpunkt von einer Aufzucht im Käfig abgesehen werden.

Sparus aurata (Dorade): Bereits Ende der 80er Jahre wurden in Griechenland, Spanien und Italien intensive Produktionsmethoden für die Dorade etabliert. Aufgrund der guten Anpassungsfähigkeiten dieser Art an intensive Haltungsbedingungen stieg die Produktion von *S. aurata* und hat im Jahr 2008 bereits über 140.000t erreicht. In der Larvaskultur, welche in speziellen landbasierten Tanks stattfindet, müssen für die Produktion dieser Art relativ komplizierte Lebendfutterprotokolle befolgt werden (FAO 2005b). Die Auswuchsphase findet unter intensiven Bedingungen üblicherweise entweder in rechteckigen Betonbecken statt oder kann kostengünstiger in Meereskäfigen erfolgen. Primär werden dazu Oberflächenkäfige in geschützten oder moderat exponierten Küstenabschnitten des Mittelmeeres verwendet. Jedoch ist auch der Gebrauch von semi-abtauchbaren und abtauchbaren Käfigen unter exponierten Bedingungen gängige Praxis (FAO 2005b). Obwohl die Deutsche Bucht zum Lebensraum der Dorade gehört und diese dort natürlich (Fishbase 2011) vorkommt, ist diese temperatursensitive Art wohl nicht geeignet für Aquakulturunternehmungen in der Nordsee, da die optimalen Wachstumstemperaturen dieser Art zwischen 18 und 26°C liegen und das letale Temperaturlimit bei ca. 4°C liegt.

Tabelle 03: Übersicht über den Status der Aquakultur der mögliche Kandidaten aufgeteilt in die Phasen Reproduktion (Brodstockmanagement + Spawning), Larvakkultur (Dottersacklarve bis Fingerling) und Auswachsphase; + Kommerzielle Praxis, (+) Experimentell demonstriert, - bisher noch nicht möglich, ? bisher nicht untersucht

Wissenschaftl. Name	Deutscher Name	Abiotische Umweltfaktoren (unter Aquakulturbedingungen)	Status der Aquakultur	Quellen
<i>Anarhichas</i> <i>Lupus</i>	Gestreifter Seewolf	Temperatur: -1°C bis 10,2°C Salinität: 7 bis 35‰	Reproduktion: + Larvakkultur: + Auswachsphase: + Offshore ?	Moksness 1994 Moksness et al. 2004
<i>Anarhichas</i> <i>Minor</i>	Gefleckter Seewolf	Temperatur: -1,3°C bis 8 °C Salinität: 12 bis 35‰	Reproduktion: + Larvakkultur: + Auswachsphase: + Offshore ?	Moksness 1994 Moksness et al. 2004
<i>Anguilla</i> <i>Anguilla</i>	Europäischer Aal	Temperatur: 4°C bis 20 °C Salinität: 0-35‰	Reproduktion: - Larvakkultur: - Auswachsphase: + Offshore -	FAO 2004a
<i>Dicentrarchus</i> <i>Labrax</i>	Wolfsbarsch	Temperatur: 5°C bis 28 °C Salinität: 7 bis 35‰	Reproduktion: + Larvakkultur: + Auswachsphase: + Offshore +	FAO 2005a
<i>Gadus</i> <i>Morhua</i>	Dorsch/Kabeljau	Temperatur: -1°C bis 23°C Salinität: 8‰ bis 35‰	Reproduktion: + Larvakkultur: + Auswachsphase: + Offshore (+)	Jobling 1988 Moksness et al. 2004 Chambers & Howell 2006
<i>Hippoglossus</i> <i>hippo-</i> <i>glossus</i>	Atlantischer Heilbutt	Temperatur: -1,3°C bis 18-20°C Salinität: 15‰ bis 35‰	Reproduktion: + Larvakkultur: + Auswachsphase: + Offshore (+)	Daniels & Watanabe 2010 Moksness et al. 2004 Imsland et al. 2006
<i>Melanogrammus</i> <i>aeglefinus</i>	Schellfisch	Temperatur: -0,8°C bis ???°C Salinität: ? ‰ bis ? ‰	Reproduktion: + Larvakkultur: + Auswachsphase: + Offshore (+)	Moksness et al. 2004 Chambers & Howell 2006
<i>Merluccius</i> <i>merluccius</i>	Europäischer See- hecht	Temperatur: ?°C bis ?°C Salinität: ? ‰ bis ? ‰	Reproduktion: - Larvakkultur: - Auswachsphase: (+) Offshore -	Moksness et al. 2004 Iglesias 2009
<i>Pagellus</i> <i>bogaraveo</i>	Rote Fleckenbrasse	Temperatur: ?°C bis ?°C Salinität: ? ‰ bis ? ‰	Reproduktion: (+) Larvakkultur: (+) Auswachsphase: (+) Offshore ?	Peleteiro et al. 2000 Silva et al. 2006
<i>Pagellus</i> <i>erythrinus</i>	Rotbrasse	Temperatur: ?°C bis ?°C Salinität: ? ‰ bis ? ‰	Reproduktion: (+) Larvakkultur: (+) Auswachsphase: (+) Offshore ?	Klaoudatos et al. 2004 Klaoudatos & Klaoudatos 2004

<i>Platichthys flesus</i>	Flunder	Temperatur: ?°C bis ?°C Salinität: ? ‰ bis ? ‰	Reproduktion: Larvankultur: Auswuchsphase: Offshore	(+) (+) (+) -	Engell-Sørensen et al. 2004
<i>Pollachius pollachius</i>	Steinköhler	Temperatur: ?°C bis ?°C Salinität: ? ‰ bis ? ‰	Reproduktion: Larvankultur: Auswuchsphase: Offshore	+ + + -	Rosenlund & Skretting 2006
<i>Scophthalmus maximus</i>	Steinbutt	Temperatur: 8 °C bis 22 °C Salinität: 15‰ bis 35‰	Reproduktion: Larvankultur: Auswuchsphase: Offshore	+ + + -	Person-Le Ruyet 2002 Daniels & Watanabe 2010 Moksness et al. 2004
<i>Salmo salar</i>	Lachs	Temperatur: 6 °C bis 16 °C Salinität: 0‰ bis 35‰	Reproduktion: Larvankultur: Auswuchsphase: Offshore	+ + + ?	FAO 2004d Boghen 1991 Ref??
<i>Salmo trutta trutta</i>	Meerforelle	Temperatur: <18 °C Salinität: 0 ‰ bis 32‰	Reproduktion: Larvankultur: Auswuchsphase: Offshore	+ + + (+)	Lucas and Southgate 2003 Bilio 2008
<i>Salvelinus alpinus</i>	Seesaibling	Temperatur: <10°C bis 13°C (opt.) Salinität: 0 ‰ bis 32 ‰	Reproduktion: Larvankultur: Auswuchsphase: Offshore	+ + + -	Boghen 1991
<i>Solea solea</i>	Seezunge	Temperatur: 18°C bis 20°C optimal Salinität: ??? ‰ bis ??? ‰	Reproduktion: Larvankultur: Auswuchsphase: Offshore	(+) (+) - -	Moksness et al. 2004
<i>Sparus aurata</i>	Goldbrasse, Dorade	Temperatur: <5 °C letal 18°C bis 26°C optimal Salinität: ??? ‰ bis ??? ‰	Reproduktion: Larvankultur: Auswuchsphase: Offshore:	+ + + (+)	FAO 2005b

7.1.5 Ergebnisse der Strömungsuntersuchung

Das im Projekt getestete Käfigmodell wurde auf Grund der Wellenkanalgröße in einen Maßstab von 1:40 angefertigt. Daraus resultierte die Herausforderung, Fische mit sehr geringer Größe zu finden die sich als Modellorganismus eignen. Da sich nach ersten Sondierungen von möglichen Kandidaten Plattfische als besonders aussichtsreich erwiesen, wurden juvenile Steinbutte der Firma Maximus AS für die Strömungsversuche ausgewählt.

Die Ergebnisse der Strömungsuntersuchungen zeigen einen starken Einfluss der anhaltenden Strömung auf die Fische im Käfig. Juvenile Steinbutte in diesem Käfigmodell werden von der Strömung von ihren Ablageflächen bewegt und müssen aktiv gegen die Strömung anschwimmen. Bei steigender Strömungsgeschwindigkeit werden die Fische sogar an die Käfigwand bzw. das Netz gedrückt. Dadurch werden die Tiere massivem Stress ausgesetzt und eine länger anhaltende Strömung, gegen die die Tiere aus eigener Kraft nicht anschwimmen können, würde zu schweren gesundheitlichen Schäden und langfristig zum Tod der Tiere führen. Die Ergebnisse aus diesem Versuch zeigen, dass der Steinbutt und vermutlich auch andere Plattfischarten für eine Aufzucht unter Strömungsbedingungen der deutschen Bucht mithilfe der bisher vorgesehenen Konstruktionen nur eingeschränkt geeignet sind. Es wird deutlich, dass ein Verständniss der Zusammenhänge von Fischgesundheit und starken hydrodynamischen Kräften von großer Bedeutung für eine nachhaltige, artgerechte Tierhaltung ist.



Abb. 05: Fische im Käfigmodell (Zylinder) des Franzius-Instituts für die Welfare- und Stressuntersuchungen..

7.2 Abschlussbericht der AG 2 - Fischereiökonomie/Wirtschaftlichkeit: Ökonomische Beurteilung von Open Ocean Multi Use Konzepten der marinen Aquakultur

Partner: Institut für Seefischerei von Thünen-Institut, Kutterfisch, EWE, FRoSTA, IMARE

7.2.1 Einleitung

Das Institut für Seefischerei des Johann Heinrich von Thünen Institutes hat Projektpartner des Instituts für Marine Ressourcen GmbH (IMARE) im Rahmen des Projektes „Multiple Nutzung und Co-Management von Offshore-Strukturen: Marine Aquakultur und Offshore Windparks (Open-Ocean Multi Use, OOMU) die Aufgabe übernommen, eine ökonomische Bewertung der im Projekt identifizierten möglichen Co-Nutzungen von Offshore Windparks Arealen durch marine Aquakultur durchzuführen.

Das deutsche Küstenmeer und die Ausschließliche Wirtschaftszone in Deutschland zeichnen sich durch große Nutzungskonkurrenz auf den vorhandenen Meeresarealen aus: Seefahrtslinien, Naturschutzgebiete, Touristische Nutzungen, Windparks, Abbau von Rohstoffen, Leitungen, militärische Sperrflächen und andere Nutzungen schränken die Möglichkeiten der Fischerei immer mehr ein. Da die gegenwärtig entstehenden und die projektierten Windparks große Flächen für andere Nutzungen erst einmal verhindern, zu großen Teilen diese Flächen aber gar nicht nutzen, entstand der Gedanke einer Ko-Nutzung dieser Areale durch Aquakultur.

Die Ergebnisse der ökonomischen Bewertung solcher Ko-Nutzungsoptionen durch Aquakultur sollen in diesem Bericht vorgestellt werden. Dabei wurden verschiedene Verfahren der Kosten- und Leistungsrechnung angewendet, die sowohl statisch als auch - wo sinnvoll - dynamischen Charakter haben. In Verbindung mit einer Erlöskalkulation lässt sich dann eine Bewertung des kommerziellen Potentials der Co-Nutzungsvarianten vornehmen. Ergänzend wird eine Sensitivitätsanalyse dort angewendet, wo Kosten- und Erlöse hinreichend abschätzbar sind und so die Unsicherheit in den grundlegenden Daten eine solche weiterführende Analyse nicht gleich ex-ante sinnlos machen würde.

Drei potentielle Spezies wurden identifiziert: Mollusken (hier: Miesmuscheln), Makroalgen (hier: *Saccharina latissima*) und Fische (Hier: Wolfsbarsch, Dorsch, Schellfisch, Lachs, Thun, Steinbutt, weißer Heilbutt). Für diese Kandidaten wurden die entsprechenden Rechnungen, soweit sinnvoll, durch-

geführt. Dies bedeutet, dass bei sich abzeichnendem fehlenden ökonomischen Potential schon im Stadium einfacher Deckungsbeitragsrechnungen (das ist die Differenz zwischen Erlösen und variablen Kosten) weitergehende Methoden erst gar nicht zum Einsatz kamen. Um sinnvolle Kostenabschätzungen vornehmen zu können, wurde jeweils ein konkreter Standort in Absprache mit dem Projektleiter IMARE GmbH identifiziert. Alle monetären Größen sind reale Größen vor Steuern.

7.2.2 Miesmuscheln (*Mytilus edulis*)

Einleitung

Ausgehend von dem Gedanken, dass der Raum zwischen den Windkraftanlagen (WKA) zu großen Teilen für andere Nutzungen, die den Betrieb nicht gefährden, ermöglicht werden sollte, ergab sich die Überlegung, hier Muschelzucht an Langleinen stattfinden zu lassen. In entsprechenden Versuchen konnte nachgewiesen werden, dass eine Ansiedlung von Miesmuscheln an Langleinen möglich ist. Dabei gibt es grundsätzlich zwei mögliche Arten der Nutzung, nämlich die reine Saatmuschelgewinnung, um diese dann auf den bereits existierenden Kulturfleichen auszubringen. Oder das Belassen der Muscheln auf den Langleinen, ggf. unter Ausdünnung des Bewuchses, und die Ernte zu einem Zeitpunkt, zu dem sie konsumfähige Größe erreicht haben. Als „Farmer“ kommen die bereits tätigen Muschelfischer in Frage, aber auch „Neulinge“. Deshalb wurde eine Berechnung sowohl für Saatmuscheln als auch für Konsummuscheln durchgeführt, des Weiteren wurde die Nutzung bestehender Ausrüstung der Neuanschaffung der notwendigen Infrastruktur und Investitionsgüter gegenüber gestellt. Damit ergeben sich 4 Szenarien: Saatmuschelkultur mit und ohne Nutzung bestehender Ausrüstung und Konsummuschelkultur mit bestehender oder neu anzuschaffender Ausrüstung.

Daten und Methoden

Als Standort wurde der Bereich des Windparks „Nordergründe“ ausgewählt. Die Methode der Kostenvergleichsrechnung bricht die während der Laufzeit eines Investitionsprojektes anfallenden Erlöse und Kosten auf einen kürzeren Zeitraum, im Regelfall ein Jahr, herunter. Damit können quasi die durchschnittlich für einen bestimmten Zeitraum anfallenden Kosten und Erlöse dargestellt und kalkuliert werden. Aus den Ergebnissen kann dann einfach berechnet werden, wie hoch die Erlöse pro Jahr sein müssen, um die ökonomischen Kosten (i.e. bewerteter Werteverbrauch einer Periode) zu decken. Dabei gibt es eine Untergrenze, Betriebsminimum genannt, und eine Obergrenze. Beim Betriebsminimum sollen wenigstens die durch das Betreiben der Tätigkeit anfallenden Kosten gedeckt werden, dies sind die variablen Kosten. Wenn man sich also entscheidet, das Geschäft für einen bestimmten Zeitraum nicht durchzuführen, sollten diese Kosten bei null liegen. Langfristig sollten alle Kosten eines Betriebs gedeckt werden, also z.B. auch der Verzehr an Investitionsgütern, die Abschreibungen, verdient werden, damit die entsprechenden Ausgaben für diese Güter, wie z.B. Maschinen, Gebäude, Schiffe, nach Ende der Abschreibungszeit verdient worden sind. Werden diese sogenannten Vollkosten evtl. für eine gewisse Zeit nicht verdient, weil die Preise zu niedrig sind, sollten die Erlöse (Preis mal Absatzmenge) wenigstens so hoch sein, dass die variablen Kosten gedeckt werden. Sonst wäre es lohnender, vorerst auf die Ausübung der Tätigkeit zu verzichten.

Die Erlöse, die bei gegebener Erntemenge vom Preis abhängen, sollten idealerweise also alle Kosten decken. Der hierzu notwendige Preis nennt sich Break-even Preis, der hier für die Vollkosten- und auch die variable Kostendeckung berechnet wurde. Andererseits können bei gegebenem Preis auch die zur Kostendeckung notwendigen Erntemengen berechnet werden. Dies ist dann die Break-even Ernte. Um diese Größen zu berechnen, müssen die einzelnen Kosten bestimmt und bewertet werden. Für die Kostenvergleichsrechnung war somit die Ermittlung der jährlichen Abschreibungen notwendig. Die Ergebnisse finden sich in Tabelle 04. Es wurde ein 4-jähriger Produktionszyklus angenommen (entsprechend der Lebensdauer der Langleinen als wesentlicher Kostenbestandteil

Tabelle 04: Investitionen und jährliche Abschreibungen für das Betreiben von 4 Muschelplots

Bestandteile	Beschreibung	Menge	Stückkosten	Gesamtkosten	Nutzungsdauer	Abschreibung p.a.
Neues Schiff	Muschelkutter für Langleinenzwecke, inkl. 500 KW Motor	1	4.000.000	4.000.000	20	200.000
Land Einrichtung	Land und Gebäude für Lager, Konstruktion und Büros	1	1.500.000	1.500.000	15	100.000
Motor	Überholung nach 10 Jahren	1	385.000	385.000	10	38.500
Langleine		198.800	2,5/m	497.000	4	124.250
Kollektoren		475.700	2,5/m	1.189.250	4	297.312,5
Bojen		20.164	4,0	80.656	6	13.442,67
Steine/Verankerung		2.272	3,3	7.497,6	10	749,76
Langleine: Sonstiges		198.800	1,0	198.800	10	19.880
Lizenzgebühren		1	1.000	1.000	20	50

Reparaturen und Unterhaltungsaufwendungen wurden mit 10% der Abschreibungen kalkuliert, während sonstige variable und fixe Kosten jeweils mit 5% der AfA (Absetzung für Abnutzung, Abschreibung) angesetzt wurden. Lizenzkosten, Schiffskosten inkl. Treibstoff, Löhne und Motorgeneralüberholung entsprechen den tatsächlich in Deutschland üblichen Beträgen (vgl. hierzu Sahr 2006 und Buck/Ebeling/Michler-Cieluch 2010). Auch der Kalkulationszins ist üblich für derartige Projekte, eine Diskussion findet sich bei Buck/Ebeling/Michler-Cieluch 2010. Mit der Verzinsung des betriebsnotwendigen Vermögens wird eine ökonomische Bewertung der alternativen Verwendung des Kapitals in vergleichbaren, insbesondere risikoäquivalenten Investitionsprojekten vorgenommen.

Als Marktpreis für die Muscheln wurde 1 Euro pro kg angenommen, ein sehr konservativer Wert, der in den letzten Jahren nicht unterschritten wurde. Aus vorgenommenen Experimenten wurde eine Biomasse von 10 kg pro Meter Langleine bei den Konsummuscheln als eher unterer Wert angenommen. Bei den Saatmuscheln wurde von 6 kg pro Meter Kulturleine ausgegangen. Daraus ergeben sich die Ergebnisse, die in Tabelle 05 dargestellt sind.

Berücksichtigt man die unterschiedlichen Zahlungszeitpunkte und Zinseszinsseffekte, was in der Kostenvergleichsrechnung nicht geschieht, und nutzt deshalb dynamische Investitionsrechnungsmethoden (Barwert und Interne Zinsfußmethode), so ergeben sich die Ergebnisse gemäß Tabelle 06. Zugrunde gelegt wurde ein Diskontsatz von 7%, wie in der einschlägigen Literatur üblich. Aufgeführt sind jeweils die Ergebnisse der Kapitalwertmethode (KW), der internen Zinsfußmethode (IZ), Einnahmeüberschuß (EÜ) aus der Kostenvergleichsrechnung und die entsprechenden Break-even Preise und Break-even Mengen.

Schließlich wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Dabei wurden wesentliche Einflussfaktoren variiert: Preise, Treibstoffkosten, Erntemenge u.a. Die Ergebnisse finden sich in den Tabelle 07,08 und 09.

Ergebnisse

Tabelle 05: Kostenvergleichsrechnung für einen 4-jährigen Produktionszeitraum

	Beschreibung	Einheit	Menge	Preis/Einheit	Gesamtwert
Umsatzerlöse		Tonnen	9.514	1.000	9.514.000
Variable Kosten					
Treibstoff	0,55 € ^a per Liter	Tage	280	1.200	336.000
Löhne und Gehälter	3.333 € ^a per Mann-Monat	Monatseinkommen	144	3.333	479.952
Reparatur und Wartung	Aufschlag von 10% auf AfA	Total	1	302.254	302.254
Sonstiges	Aufschlag von 5% auf AfA	Total	1	151.127	151.127
Zinsen auf betriebsnotwendiges Umlaufvermögen	7%	Total	1.269.333	0,07	88.853
Gesamte variable Kosten					1,358,186
Fixe Kosten					
Lizenzen	1.000 € für 4 Plots	total	1	200	200
Abschreibung auf Schiff	45 m Klasse, 430 BRZ, 500 KW	total	1	800.000	800.000
Sonstiges	Kommunikation, Versicherungen etc. (Annahme: 5% der Abschreibungen)	total	1	151.127	151.127
Abschreibung auf Langleinen	Vgl. Tabelle 1	total	1	1.822.540	1.822.540
Generalüberholung Motor nach 10 Jahren	Annahme: 385.000 € ^a	total	1	154.000	154.000
Abschreibung auf Landgebäude	Annahme: 1.500.000 €	total	1	400.000	400.000
Zinsen auf betriebsnotwendiges Anlagekapital	Annahme: 7 %	total	3.327.867	0,07	232.951
Gesamte fixe Kosten					3.560.817
Gesamtkosten					-4.919.004
Umsatzerlöse					9.514.000
Betriebsüberschuss					4.594.996

Break-even Preis	Annahme: Ernte von 10kg/m	
Break-Even-Preis über variable Kosten		0,14 € ^a
Break-Even-Preis über gesamte Kosten		0,52 € ^a
Break-even Ernte	Annahme: Preis von 1,0 €/kg	
Break-Even-Ernte über variable Kosten		1,43 kg
Break-Even-Ernte über gesamte Kosten		5,17 kg

Bei den angenommenen Erntemengen von 10 kg Biomasse pro Meter Langleine, der Beschaffung neuen Equipments und anderen gemachten Annahmen ergibt sich also aus ökonomischer Sicht eine deutliche Vorteilhaftigkeit eines solchen Investments. Gegenwärtige Marktpreise sind 2-4 mal höher als die zur Vollkostendeckung notwendigen. Bei allem Risiko des Off-shore Geschäfts sind hier offensichtlich genügend Puffer für unerwartete Änderungen der Annahmen vorhanden.

Tabelle 06: Zusammenfassung der wichtigsten Profitabilitätsindikatoren

Indikator Szenario	Performance	Konsummuscheln, neues Schiff und Landgebäude	Konsummuscheln, Nutzung beste- hender Einrich- tungen	Saatmuscheln, neues Schiff und Landge- bäude	Saatmuscheln, Nutzung beste- hender Einrichtun- gen
Barwert (in € ^a)		5.667.073	9.622.937	-4.671.442	559.523
Interner Zinsfuß(in %)		14,73	28,11	-2,39	9,63
Überschuss (in € ^a)		4.594.996	6.022.000	77.668	1.505.048
Break-Even-Preis(Annahme: Ernte von 10 kg pro Meter Kulturleine, in €)		0,52	0,37		
Break-Even-Ernte (Annahme: 1 €/kg Konsummuschel, in kg)		5,17	3,67		
Break-Even-Preis (Annahme: Ernte von 5 kg/Meter Langleine, in €)				0,49	0,34
Break-Even-Ernte (Annahme 0,5 €/ kg Saatmuschel, in kg)				4,92	3,42

Die Ergebnisse zeigen, dass eine Konsummuschelzucht sowohl bei Nutzung bestehender Einrichtungen als auch bei Neuanschaffung des Equipments lohnend ist. Die Barwerte, das sind die auf die Gegenwart abgezinste Zahlungsüberschüsse, sowie der alternativ berechnete interne Zinsfuß, der ein Maß für die interne Verzinsung des eingesetzten Kapitals darstellt, weisen recht hohe Werte auf. Für die Saatmuschelgewinnung gilt dies so nicht. Diese ergibt deutlich geringere Werte für diese Profitabilitätsindikatoren, teilweise deuten sich bei Neuanschaffungen der Ausrüstung auch Verluste an. Auch die statischen Berechnungen stützen diese Ergebnisse. Vollkostendeckung im Konsummuschelbereich wird schon bei 0,37 bzw. 0,52 Euro erreicht, die mögliche Ernte könnte sich durchaus fast halbieren, um noch profitabel arbeiten zu können. Im Saatmuschelbereich ist der Sicherheitspuffer, der bei solchen innovativen Unternehmungen immer vorhanden sein sollte, deutlich kleiner.

Die Ergebnisse beruhen natürlich auf den gemachten Annahmen. Diese können nun Schritt für Schritt verändert werden, um den Einfluss auf die Profitabilitätsindikatoren zu berechnen. Dies geschieht mit Hilfe der Sensitivitätsanalyse. Als erstes werden die Auswirkungen einer Änderung der Erntemenge untersucht. Da die angenommene Erntemenge schon vorsichtig geschätzt ist, werden nur mögliche Zunahmen, von 10 kg auf 12,5 kg bzw. 15 kg im Fall der Konsummuschel, von 5kg auf 5,5 im Bereich der Saatmuscheln untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 07 zu finden.

Tabelle 07: Effekte von Änderungen der Erntemengen (Barwerte, in Klammern interner Zinsfuß)

	Konsummuscheln mit neuer Ausrüstung	Konsummuscheln mit bestehendem Equipment	Saatmuscheln mit neuer Ausrüstung	Saatmuscheln mit bestehendem Equipment
Veränderung der Erntemenge pro Meter Langleine				
12,5 kg	11.410.814 (21,31)	15.366.978 (38,52)		
15 kg	17.154.556 (27,21)	21.110.419 (48,18)		
5,5 kg			-3.467.121 (0,38)	1.763.843 (14,99)

Eine Erhöhung der Erntemengen, wie in Tabelle 07 unterstellt, würde bis auf den Fall der reinen Saatmuschelzucht mit neuem Equipment, aus ökonomischer Sicht deutlich für das Betreiben des Unternehmens sprechen.

Die Verteuerung einzelner Kostenkomponenten, wie z.B. eine Treibstoffhöhung um 10 oder 20% pro Jahr, oder Lohnerhöhungen um 3 % pro Jahr, Langleienkosten um 5% pro Jahr oder ein allgemeiner Kostenanstieg von 5% beeinflussen das Urteil bzgl. der kommerziellen Machbarkeit, wie in Tabelle 08 dargestellt.

Tabelle 08: Effekte der Änderung von Kostenarten (Barwerte, in Klammern interner Zinsfuß)

	Konsummuscheln mit neuer Ausrüstung	Konsummuscheln mit bestehendem Equipment	Saatmuscheln mit neuer Ausrüstung	Saatmuscheln mit bestehendem Equipment
Treibstoffkostenerhöhung				
+ 10 % p.a.	4.489.131 (13,64)	8.444.995 (27,11)	- 5.344.551 (n.c. ^b)	-113.587 (6,35)
+ 20 % p.a.	801.572 (8,96)	4.757.435 (24,43)	- 7.451.728 (n.c. ^b)	- 2.220.764 (n.c. ^b)
Lohnkostenzunahme				
+ 3,0 %	5.366.002 (14,44)	9.321.865 (27,80)	- 4.945.179 (- 3,39)	285.785 (8,43)
Langleinenkostenerhöhung				
+ 5 %	2.859.985 (11,65)	6.815.849 (25,02)	- 7.478.663 (n.c. ^b)	-2.247.698 (n.c. ^b)
Allgemeine Kostenerhöhung				
+ 5 % p.a.	-1.899.456 (2,13)	2.056.407 (15,56)	- 9.651.653 (n.c. ^b)	- 4.420.688 (n.c. ^b)

n.c.^b bedeutet nicht zu kalkulieren. Von Zahlungsreihen mit mehr als einem negativen Saldo können nicht problemlos die internen Zinsfüße berechnet werden. Da die Barwerte schon negativ sind, erübrigt sich das auch für die ökonomische Beurteilung.

Es zeigt sich eine deutliche Machbarkeitsproblematik, wenn ein reines Saatmuschelinvestment getätigt würde. Dieses rechnet sich offensichtlich nur, wenn die Saatmuscheln gewonnen werden, um sie selbst zu Konsummuschelgröße heranreifen zu lassen, z.B. auf den traditionellen Muschelfeldern in der Nordsee. Bei einer Langleinenkultur von Konsummuschel ist die Profitabilität auch bei Änderungen einiger Parameter gegeben, insbesondere wenn mit bestehendem Equipment gearbeitet werden kann. Würde von einem Preisanstieg von 5% pro Jahr für alle Kostenkomponenten ausgegangen, so sollte aus ökonomischer Sicht eine Muschelzucht mit neuem Equipment bei konstanter Erlössituation nicht betrieben werden.

Eine Veränderung der erzielbaren Preise für Konsum- und Saatmuscheln sowie eine Variation der Diskontrate, die die Bewertung eines alternativen, risikoadäquaten Investments darstellt, wird in Tabelle 6 unterstellt.

Tabelle 09: Effekte der Änderungen von Preisen und Diskontrate (Barwerte, in Klammern interner Zinsfuß)

	Konsummuscheln mit neuer Ausrüstung	Konsummuscheln mit bestehendem Equipment	Saatmuscheln mit neuer Ausrüstung	Saatmuscheln mit bestehendem Equipment
Preis pro kg Muschel				
0.9 € ^a	3,369,576 (11.81)	7,325,440 (23.66)		
1.1 € ^a	7,964,570 (17.47)	11,920,433 (32.38)		
0.6 € ^a			- 2,262,801 (2.87)	2,968,164 (20.13)
Änderung der Diskontrate				
6 %	6,867,422	10,871,396	-4,447,988	831,087
8 %	4,611,108	8,522,651	-4,863,591	323,053
9 %	3,678,854	7,549,757	-5,029,506	116,498

Wie anzunehmen war, verbessern die höheren Preise die Vorteilhaftigkeit der Langleinenkultur für Konsummuscheln deutlich. Dabei führen geringere Preise nicht zu einer Ablehnung des Investments mit neuer Ausrüstung. Im Fall der Saatmuscheln verändern sich die Ergebnisse für die das Szenario mit Nutzung bestehender Equipments. Dies erscheint nur sehr viel eher kommerziell machbar, während die Saatmuschelzucht mit neuem Equipment weiterhin zu unprofitabel erscheint. Eine Variation der Diskontrate bestätigt diese Ergebnisse.

Fazit

Die Produktion von Konsummuscheln an Langleinenkultur im Offshore-Bereich erweist sich als hochprofitabel. Dabei sind mögliche Synergieeffekte aus der gemeinsamen Nutzung von Infrastruktur und Personal z.B. mit Windanlagenbetreibern noch gar nicht berücksichtigt. Diese Abschätzung wird an dieser Stelle aufgrund der bereits ohne diese Effekte dargestellten kommerziellen Machbarkeit nicht weiter vorgenommen, würde die Profitabilität aber natürlich noch weiter verbessern. Anzumerken ist an dieser Stelle, dass die Überlegungen ursprünglich auf Saatmuschelerzeugung bezogen waren, da über Jahre ein deutlicher Rückgang an Saatfall in der deutschen Nordsee festzustellen war. Da die zwischenzeitlich erlaubte Einfuhr von Saatmuscheln aus z.B. Irland mittlerweile gerichtlich untersagt wurde, gibt es auch keine wirklich aktuellen Marktpreise für Saatmuscheln. Ihre reine Erzeugung für potentielle Neueinsteiger in das Business ist auch gegenwärtig nicht profitabel, sondern bietet sich nur für Betriebe an, die bereits über die entsprechende Ausrüstung verfügen, also die existierenden Muschelfarmer.

7.2.3 Makroalgen

Einleitung

Für die marine Aquakultur von Makroalgen wurden zwei unterschiedliche Techniken evaluiert. Zum einen die Langleinenkultur, zum anderen die Ringkultur. Beide unterscheiden sich durch die produzierbare Biomasse und die Investitionskosten. Als beispielhafte Spezies wurde *Saccharina latissima* ausgewählt, u.a. da hierzu experimentelle Daten für die Nordsee vorliegen. Außerdem war ursprünglich an eine Nutzung für die Gewinnung von Treibstoff in Form von Bioethanol gedacht, so dass sich *Saccharina latissima* besonders aufgrund des hohen Zuckergehalts anbot.

Daten und Methoden

Als Standort wurde der projektierte Windpark „Cape Wind“ vor der amerikanischen Ostküste ausgewählt. Dort sollen 130 Anlagen mit einem Abstand zwischen 4 und 11 Meilen von der Küste entfernt entstehen. Der Zwischenraum zwischen den Turbinen erlaubt eine Nutzung auf Rechtecken mit den Maßen 400 mal 200 Meter. Preise wurden vor Ort recherchiert bzw. aus der Kenntnis der deutschen Preise in US-Dollar umgerechnet (Wechselkurs 1 Euro=1,30 US- $\text{\$}$). Dies betrifft vor allem die Laborausstattung und die Kosten für Ring bzw. Langleine. Die Kosten für Gebäude, Schiff, Löhne, Lizenzkosten, Grundstück sowie Treibstoff wurden lokal ermittelt. Für die Arbeitslöhne wurde z.B. der Durchschnittslohn für Fischer und Fischereiähnliche Tätigkeiten in Höhe von 26.600 US- $\text{\$}$, entsprechend den Zahlen des US-amerikanischen Büros für Arbeitsmarktstatistiken, angesetzt. Es wurde davon ausgegangen, dass eine neue Halle mit Büro, ein Grundstück sowie ein geeignetes Schiff gekauft werden müssen. Zudem wurden die Kosten für die Laboreinrichtung und das Kulturequipment, sprich: Langleine und Ringe, Personalaufwand, Lizenzgebühren ermittelt, wobei Wartung und Reparatur sowie sonstige Kosten als Aufschlagkalkulation erfolgten. Es wurden Zinsen in Höhe von 7% angesetzt, die in der Literatur als Risiko adäquat angesehen werden. Problematisch ist die Erlösseite, da es bis auf wenige Ausnahmen und da auch nur für geringe Mengen, kaum verfügbare Marktpreise für Makroalgen gibt. Aufgrund dieser Problematik wurde auf eine dynamische Investitionsrechnung verzichtet und lediglich eine Kostenvergleichsrechnung mit einer Break-Even-Analyse durchgeführt. Eine Diskussion unterschiedlicher Marktpreise erfolgt im Ergebnisteil.

Als biologische Parameter wurden 8kg Biomasse pro Jahr pro Meter Kulturleine angesetzt. Es erfolgt eine Ernte pro Jahr. Es können pro Plot bei einem Abstand von 20 m 11 Langleinen á 375 Meter ausgebracht werden. Jede Langleine hat 900 Meter Kulturleine so dass insgesamt 9.900 Meter Kulturleine pro Plot zur Verfügung stehen. Bei 8kg Biomasse pro Meter Kulturleine ergibt das 79,2 Tonnen Biomasse an Makroalgen pro Jahr pro Plot. Für die Ringtechnologie wurde ein Ring mit 8m Durchmesser angenommen, so dass bei Berücksichtigung der aufgrund der Schwingungen notwendigen Abstände 70 Ringe per Plot ausgebracht werden können. Pro Ring ergeben sich bei 8 kg Biomasse pro Jahr pro Meter Kulturleine 1,33 to Makroalgenernte pro Jahr, was bei 10 Plots und 70 Ringen pro Plot

zu einer Ernte von 932,4 to Makroalgen pro Jahr führt. Es wurden 120 Seetage kalkuliert, jeweils mit 2 Arbeitern und dem Eigentümer. Das entspricht etwa 18 Mann-Monaten. Dazu wurden 2 Mann-Monate reine Tätigkeit des Inhabers, je 2 Monate reine Arbeitertätigkeit für beide Arbeiter sowie 1 Monat gemeinsame Arbeit an Land angesetzt. Insgesamt ergeben sich so 25 Mann-Monate. Das Grundstück unterliegt keiner wirtschaftlichen Abnutzung, weshalb hier nur Kapitalzinsen für das gebundene Kapital angesetzt werden.

Die Ermittlung der Abschreibungen wird in Tabelle 10 dargestellt.

Ergebnisse

Tabelle 10: Investitionen und jährliche Abschreibungen für das Betreiben von 10 Makroalgen-Plots

	Menge	Wert in US-\$	Lebensdauer in Jahren	Abschreibung p.a.
Gebrauchtes Schiff	1	230.000	15	15.333
Motor (Generalüberholung nach 10 Jahren)	1	100.000	10	10.000
Lizenzkosten	10	1.000	10	1.000
Gebäude (etwa 1500 m ²)	16.150 Quadratfuß	35 pro Quadratfuß	25	22.610
Laborbau	1	13.000	15	867
Tank (2500l)	48	364	10	1.747
Tank (100l)	48	26	10	125
Behandlungseinheit	1	10.400	10	1.040
Kühlschrank	5	1.300	10	650
Laborausrüstung	1	4.000	10	400
Sporulationsausrüstung	1	5.200	10	520
Lampen	12	1.300	5	3.120
Schweißgerät	1	1.950	10	195
Summe				57.607

Die Ergebnisse der Kostenvergleichsrechnung und der Break-Even-Analyse finden sich in den Tabelle 11 (Langleine) und 9 (Ring).

Tabelle 11: Kostenvergleichsrechnung für Langleinentechnologie, 10 Plots

	Einheit	Menge	Preis/Einheit	Gesamtwert
Umsatzerlöse	Tonnen Nassgewicht	792	500	396.000
Variable Kosten				
Treibstoff (3 \$ pro Gallone)	Seetage	120	600	72.000
Löhne	Mann-Monate	25	2.217	55.425
Reparaturen und Wartung (10 % auf AfA)	Total	1	12.042	12.042
Sonstiges (5% auf AfA)	Total	1	6.021	6.021
Zinsen auf operatives Kapital	Betriebsnotwendiges Umlaufvermögen	72.744	0,07	5092
Gesamte variable Kosten				150.580
Fixe Kosten				
Lizenzen	Total	1	1.000	1.000
Abschreibung auf das Schiff	Total	1	15.333	15.333
Abschreibung auf Langleinen-konstruktion	Total	110	671	73.810
Abschreibung auf Labor	Total	1	8664	8.664

Abschreibung auf Landgebäude	Total	1	22.610	22.610
Motorüberholung	Total	1	10.000	10.000
Sonstiges (5% auf AfA)	Total	1	6.021	6.021
Zinsen auf fixes Kapital (inkl. Grundstück)	Betriebsnotwendiges Anlagekapital	237.438	0,07	23.621
Fixe Kosten gesamt				161.059
Gesamtkosten				311.639
Umsatzerlöse				396.000
Betriebsüberschuss				84.361
Break-Even Preis (Annahme: 7,2 to Biomasse pro Langleine)				
Break-Even-Preis über variable Kosten				190 US-\$
Break-Even Preis über gesamte Kosten				393 US-\$
Break-Even-Erntemenge (Annahme 0,5\$ pro kg Makro- algen Nassgewicht)				
Über variable Kosten				3,04 kg
Über Gesamte Kosten				6,30 kg

Tabelle 12: Kostenvergleichsrechnung für Ringtechnologie (Durchmesser 8m), 10 Plots

	Einheit	Menge	Preis/Einheit	Gesamtwert
Umsatzerlöse	Tonnen Nassgewicht	932,4	500	466.200
Variable Kosten				
Treibstoff (3 \$ pro Gallone)	Seetage	120	600	72.000
Löhne	Mann-Monate	25	2.217	55.425
Reparaturen und Wartung (10 % auf AfA)	Total	1	12.042	12.042
Sonstiges (5% auf AfA)	Total	1	6.021	6.021
Zinsen auf operatives Kapital	Betriebsnotwendiges Um- laufvermögen	72.744	0,07	5092
Gesamte variable Kosten				150.580
Fixe Kosten				
Lizenzen	Total	1	1.000	1.000
Abschreibung auf das Schiff	Total	1	15.333	15.333
Abschreibung auf Ringkon- struktion	Total	700	389	272.370
Abschreibung auf Labor	Total	1	8664	8.664
Abschreibung auf Landge- bäude	Total	1	22.610	22.610
Motorüberholung	Total	1	10.000	10.000
Sonstiges (5% auf AfA)	Total	1	6.021	6.021
Zinsen auf fixes Kapital (inkl. Grundstück)	Betriebsnotwendiges Anla- gevermögen	535.998	0,07	37.520
Fixe Kosten gesamt				373.518
Gesamtkosten				524.098
Umsatzerlöse				466.200
Betriebsüberschuß				57.898

Break-Even Preis (Annahme: 7,2 to Biomasse pro Langleine)

Break-Even-Preis über variable Kosten	161,50 US-\$
Break-Even Preis über gesamte Kosten	562,10 US-\$

Break-Even-Erntemenge

(Annahme 0,5\$ pro kg Makroalgen Nassgewicht)

Über variable Kosten	2,58 kg
Über Gesamte Kosten	8,99 kg

Im Ergebnis zeigt sich bei Anwendung der Langleinenkultur und den unterstellten Rahmenbedingungen, dass ein Preis von 393 US-\$ langfristig erzielt werden müsste. Natürlich ist auch hier von Stückkostendegressionen bei größeren Stückzahlen an Langleinen zu erwarten. Deshalb ist diese Berechnung auch eher als vorsichtig zu bewerten. Mindestens müssen die durch den Betrieb entstehenden variablen Kosten gedeckt werden. Diese wurden hier mit etwa 190 US-\$ ermittelt. Kurzfristig ist dies die Untergrenze für das Betreiben einer solchen Marikultur. Es ist selbstverständlich, dass Investitionszulagen im frühen Stadium der Entwicklung eines Marikultursektors für Makroalgen die Risikoscheu des einen oder anderen privaten Investors mindern könnte.

Bei Anwendung der Ringtechnologie zeigen sich höhere Vollkosten, die jedoch von geringeren variablen Kosten begleitet werden. Hier würden sich Stückkostendegressionen bzw. Investitionszulagen also verstärkt positiv auf die kommerzielle Machbarkeit auswirken. Im Ergebnis zeigt sich ein Kostenvorteil für die Langleinenstruktur. Bei der konservativen Annahme von 8 kg Biomassenerzeugung pro Meter Kulturleine pro Jahr liegen die erforderlichen Erlöse zur Deckung der Vollkosten knapp unter 400 US-\$ pro Tonne Nassgewicht, bei einer Biomasse von 10 kg läge der Break-Even-Preis bei etwa 315 US-\$.

Paul und Tseng (2009) haben aus den erzielbaren Erlösen von Inhaltsstoffen der Makroalgen retrograd auf den theoretischen Wert einer Tonne Biomasse geschlossen. Dabei kamen sie zu folgenden Ergebnissen:

Karageen	568 \$
Alginate	355 \$
Agar	1077 \$
Bodenzusätze	27 \$
Dünger	500 \$
Menschlicher Verzehr	100 \$
Pharmazeutika	1000 \$

Leider geben die Autoren nicht an, ob die Produktionskosten für die Extrahierung der jeweiligen Inhaltsstoffe heraus gerechnet wurden. Wahrscheinlich ist, dass sie dies nicht getan haben, so dass die Rückrechnung auf den theoretischen Wert der Rohware fehlerhaft ist, berücksichtigt er doch gerade nicht die Kosten der Extraktionsstufe. Es ist zu erwarten, dass für die Langleinen eine Stückkostendegression erreichbar sein wird. In der Industrie ließen sich Stückkostendegressionen von 20-30% für jede Verdoppelung der kumulierten Produktionsmenge empirisch nachweisen. Eine absehbare Reduzierung der Langleinenkosten um 30% würde bei der Annahme von 8kg Biomasse pro Meter Kulturleine zu einem Break-even-Preis von unter 360 Dollar pro Tonne Nassgewicht führen. Im Ergebnis bleibt festzuhalten, dass die Profitabilität der Marikultur von Makroalgen von der Existenz entsprechender Abnehmer für die Nutzung der hochwertigen Inhaltsstoffe abhängt. Eine reine Nutzung z.B. zur Bioethanol Gewinnung, ein Gedanke zu Beginn des Projektes, wäre nicht nur bei gegenwärtigen

Preisen als unprofitabel anzusehen, sondern darüber hinaus auch eine Verschwendung von hochwertigen Inhaltsstoffen. Gelingt es, diese Stoffe in möglichst großer Zahl aus den Makroalgen zu extrahieren - was vollständig technisch nicht immer machbar ist, da die Extraktion des einen Stoffes teilweise zu einer solchen Veränderung des Rohstoffs führt, das bestimmte weitere Stoffe nicht mehr separiert werden können - so kann offensichtlich schon heute zu einer kommerziell tragfähigen Produktion führen.

7.2.4 Fische

Einleitung

Für den Bereich der Offshore Aquakultur mit marinen Fischen wurden nach Maßgabe der AG Technik drei Käfigalternative durchgerechnet: Ein Zylinder mit einem Volumen von 2580 m^3 , eine Kugel mit einem Volumen von 1.260 m^3 und ein frei stehender Käfig mit einem Volumen von 8.960 m^3 . Als Lebensdauer wurden 20 Jahre angenommen. Angedacht ist es, den Zylinder und die Kugel in den Zwischenraum der Tripoden einer Offshore-Windkraftanlage (WKA) zu positionieren und an den Pfeilern der WKA so zu befestigen, dass der Käfig bei Bedarf auf- und abgefahren werden kann. Der frei stehende Käfig würde an eigenen Befestigungsstrukturen im Meeresraum zwischen 4 WKA aufgestellt. An dieser Stelle gilt es sich auf die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zu beschränken, die biologischen und technischen Untersuchungen und Berechnungen waren Bestandteil anderer Teilprojekte in diesem Projekt.

Daten und Methoden

Daten für die biologischen Wachstumsparameter, Bestandsdichten, Mortalitäten und die biologisch geeigneten Kandidaten wurden von den Mitarbeitern des biologischen Teilprojektes ermittelt Preise für die Käfigkonstruktion und den Transport wurden durch die Arbeitsgemeinschaft Technik abgeschätzt. Marktpreise für die Fische wurden aus Datenbeständen des vTI und von europäischen Aquakulturinstituten zur Verfügung gestellt. Es wurde als Standort der projektierte Windpark Nordergründe angenommen, so dass Transportkosten wie dort angesetzt werden können. Arbeitskosten u.ä. wurden ebenfalls in der Größenordnung wie bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung für die Muschellangleinekultur unterstellt. Der größte Unsicherheitsfaktor bei der Kostenberechnung ist der Käfig selbst, insbesondere vor dem Hintergrund stark schwankender Stahlpreise. Somit wurde zuerst eine Deckungsbeitragsrechnung I durchgeführt, d.h. es wurden nur variable Kosten berechnet, um so in einem ersten Schritt potentielle Kandidaten ermitteln zu können, deren Produktion zumindest annähernd die Käfigkosten decken könnten. Als günstigster Fall wurde bei Plattfischen eine Aufteilung des Zylinders in 6 Abschnitte durch Einziehen von 5 quer laufenden Unterteilungen bei einer Besatzdichte, die sich in Experimenten als problemlos machbar darstellen ließ, angenommen. Im Falle der Kugel wurden zwei Unterteilungen und damit drei Abschnitte angenommen, während bei der frei stehenden Variante wie im Falle des Zylinders 5 Unterteilungen und damit 6 Abschnitte angenommen wurden. Bei demersalen Fischen wurde die in der Literatur beschriebene unproblematische Besatzdichte als Maximum angenommen, 25 kg/m^3 als evtl. erwartbare Restriktion auf EU-Ebene als Minimum. Im Falle des Heilbutt liegen die Zahlen aus der Literatur bei $15 \text{ kg Biomasse pro qm Kulturfläche}$. Hier wurde 25 qm als mögliches Maximum angenommen, da die Kommerzielle Zucht bei der Kultur des Heilbutt noch am Anfang steht. Beim Lachs, der hinreichend erforscht und angewendet ist, wurde der übliche Werte aus der Literatur entnommen. Dies sind Zahlen für konventionelles Farming im nearshore-Bereich. Besatzdichten für den Bereich der ökologischen Aquakultur liegen darunter, beim Lachs werden z.B. 10 bis 15 kg diskutiert. Diese Diskussion ist jedoch noch nicht abgeschlossen, insbesondere da sich die Fische in ihrem Sozialverhalten deutlich unterscheiden. Steinbutte z.B. legen sich gerne übereinander, selbst wenn genug Platz vorhanden ist. Die zulässigen und wünschbaren Besatzdichten sind noch nicht hinreichend bestimmt, weshalb auch hier weitere Forschung notwendig ist, die starken Einfluss auf die Profitabilität der entsprechenden Anlagen haben wird.

Die Zahl der Lebenszyklen pro Käfig ergibt sich aus der Dauer der Fischeaufzucht bis zur Marktreife in Monaten in Relation zur angenommenen Lebensdauer von 20 Jahren für den Käfig, wobei nur vollständige Lebenszyklen berücksichtigt wurden.

Ergebnisse

Tabelle 13: Deckungsbeitragsrechnung für verschiedene Fische und Szenario Zylinder

	Weißer Heil- butt	Wolfsbarsch	Kabeljau	Schellfisch	Roter Tunfisch	Steinbutt	Lachs
Futterkosten Pro kg Biomasse bis zur Marktreife	1,53	1,94	2,24	1,53	>12	1,99	1,60
Jungfischkosten* je kg Bio- masse	0,73	0,91	0,38	0,52	4	0,81	0,38
Sonstige variable Kosten je kg Biomasse (Annahme: 20% vom Erlös)	1,00	1,10	0,5	0,60	2	1,80	0,66
Erlös je kg	5,02	5,50	2,50	3,00	10,00	6,80	3,30
Deckungsbeitrag 1	1,73	1,55	-0,62	0,35	>-8	2,22	0,66
Biomasse je Käfig günstigster Fall in kg in Klammern Besatz- dichte)	23.1003 (25kg)	77.400 (30kg)	64.500 (25kg)	64.500 (25 kg)	64.500 (25kg)	27.720 (30kg)	51.600 (20kg)
Biomasse je Käfig in kg un- günstigster Fall in kg	13.860 (15kg)	64.500 (25kg)	n.a.	n.a.	n.a.	23.100(25kg)	n.a.
Lebenszyklen je Käfig in kg (vorläufige Annahme)	8	8	10	9	13	8	10
Erlös je Käfig-mögliche Kosten je Käfig (=DB 1 je Käfig, ohne Berücksichtigung weiterer Fixkosten), günstiger Fall	319.704	959.760	Verlust	203.175	Verlust	492.307	340.560
Ungünstiger Fall	191.822	799.800	Verlust	n.a.	n.a.	410.256	n.a.

Tabelle 14: Deckungsbeitragsrechnung für verschiedene Fische und Szenario Kugel

	Weißer Heilbutt	Wolfsbarsch	Kabeljau	Schellfisch	Roter Tunfisch	Steinbutt	Lachs
Futterkosten Pro kg Biomasse bis zur Marktreife	1,53	1,94	2,24	1,53	>12	1,99	1,60
Jungfischkosten* je kg Biomasse	0,73	0,91	0,38	0,52	4	0,81	0,38
Sonstige variable Kosten je kg Biomasse (Annahme: 20% vom Erlös)	1,00	1,10	0,5	0,60	2	1,80	0,66
Erlös je kg	5,02	5,50	2,50	3,00	10,00	6,80	3,30
Deckungsbeitrag 1	1,73	1,55	-0,62	0,35	>-8	2,22	0,66
Biomasse je Käfig günstigster Fall in kg in Klammern Besatzdichte)	3.250 (25kg)	37.800 (30kg)	31.500 (25kg)	31.500 (25 kg)	31.500 (25kg)	3.900 (30kg)	25.200 (20kg)
Biomasse je Käfig in kg ungünstigster Fall in kg	1.950 (15kg)	31.500 (25kg)	n.a.	n.a.	n.a.	2.146,5(25kg)	n.a.
Lebenszyklen je Käfig in kg (vorläufige Annahme)	8	8	10	9	13	8	10
Erlös je Käfig-mögliche Kosten je Käfig (=DB 1 je Käfig, ohne Berücksichtigung weiterer Fixkosten), günstiger Fall	44.980	468.720	Verlust	99.225	Verlust	69.264	166.320
Ungünstiger Fall	26.988	390.600	Verlust	n.a.	n.a.	57.720	n.a.

Tabelle 15: Deckungsbeitragsrechnung für verschiedene Fische und Szenario frei stehender Käfig

	Weißer Heil- butt	Wolfsbarsch	Kabeljau	Schellfisch	Roter Tunfisch	Steinbutt	Lachs
Futterkosten Pro kg Biomasse bis zur Marktreife	1,53	1,94	2,24	1,53	>12	1,99	1,60
Jungfischkosten* je kg Bio- masse	0,73	0,91	0,38	0,52	4	0,81	0,38
Sonstige variable Kosten je kg Biomasse (Annahme: 20% vom Erlös)	1,00	1,10	0,5	0,60	2	1,80	0,66
Erlös je kg	5,02	5,50	2,50	3,00	10,00	6,80	3,30
Deckungsbeitrag 1	1,73	1,55	-0,62	0,35	>-8	2,22	0,66
Biomasse je Käfig günstigster Fall in kg in Klammern Besatz- dichte)	93.750 (25kg)	268.800 (30kg)	224.000 (25kg)	224.000 (25 kg)	224.000 (25kg)	112.500 (30kg)	179.200 (20kg)
Biomasse je Käfig in kg un- günstigster Fall in kg	56250 (15kg)	224.000 (25kg)	n.a.	n.a.	n.a.	93.750(25kg)	n.a.
Lebenszyklen je Käfig in kg (vorläufige Annahme)	8	8	10	9	13	8	10
Erlös je Käfig-mögliche Kosten je Käfig (=DB 1 je Käfig, ohne Berücksichtigung weiterer Fixkosten), günstiger Fall	1.297.500	3.333.120	Verlust	705.600	Verlust	1.998.000	1.182.720
Ungünstiger Fall	778.500	2.777.600	Verlust	n.a.	n.a.	1.665.000	n.a.

Die von der AG Technik prognostizierten Kosten von etwa 684.617 Euro für einen Zylinder, 318.558 Euro für eine Kugel (jeweils inkl. Geschätzte Verstärkung am Tripile sowie von 572.000 Euro für die frei stehende Variante lassen sich gegenwärtig nur für wenige Varianten erwirtschaften. Hinzu kommen Installationskosten von etwa 150.000 Euro, berechnet für die Installation eines Käfigs.. Dies ergibt sich aus dem Vergleich der vorletzten und der letzten Zeile aus den Tabellen 13-15, wo die Deckungsbeiträge über eine 20 jährige Lebensdauer der Käfige für den günstigsten und ungünstigsten Fall, sprich: unterschiedliche Besatzdichten, aufsummiert wurden (ohne Berücksichtigung von Zinseszinsseffekten und unterschiedlichen Zahlungszeitpunkten).

Da die Investition in ein Schiff, die Kosten für Schiffszeiten und die Kosten für Infrastruktur an Land noch hinzu kommen, scheidet die Kugelvariante aus ökonomischer Sicht vorerst aus. Dies insbesondere auch, weil die anderen Varianten kostengünstiger sind. Vergleicht man die Kosten für die Zylindervariante mit denen des frei stehenden Käfigs, so schneidet der frei stehende Käfig am besten ab. Der Zylinder lässt jedoch bei entsprechender Kostendegression aufgrund von anderen Materialien und Serienproduktion des Käfigs, zumindest für die Spezies Wolfsbarsch und eingeschränkt auch Steinbutt, kommerzielles Potential erkennen. Am viel versprechendsten erscheint gegenwärtig jedoch die Variante frei stehender Käfig und die Spezies Wolfsbarsch, gefolgt vom Steinbutt. Deshalb soll für das Szenario Wolfsbarsch und frei stehender Käfig eine beispielhafte Kostenvergleichsrechnung durchgeführt werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 16 aufgeführt.

Tabelle 16: Kostenvergleichsrechnung für das Szenario Wolfsbarsch und frei stehender Käfig

Budgetanalyse für einen Lebenszyklus eines frei stehendes Käfigs (20 Jahre), Annahme 10 Käfige, ein neues Schiff, neue Infrastruktur an Land				
(Käfigvolumen 8960 m ³ , 25 kg/m ³ Besatzdichte, über 20 Jahre)				
	Einheit	Menge	Preis/Einheit	Gesamtwert
Bruttoerlös	to	17.920,00	5.500,00	98.560.000,00
Variable Kosten				
Treibstoff (0,60 Euro/Liter)	Tage	2.400,00	600,00	1.440.000,00
Löhne (3300 Euro pro Mann-Monat)	Einkommen/ Monat	480,00	3.300,00	1.584.000,00
Reparatur/Wartung und sonstiges (Annahme 10% der AfA)	Total	1,00	1.092.000	97.600
Jungfischkosten	Total	17.920,00	910	16.307.200
Futterkosten		17.920,00	1.940	34.764.800
Zinsen auf operatives Kapital (7%)	Total	27.096.800	0,07	1.896.776
Gesamte variable Kosten				56.090.376

Fixe Kosten				
Lizenzen (1000 Euro für je einen Käfig)	Total	10,00	1.000,00	10.000,00
Abschreibung auf ein Schiff, Lebensdauer 25 Jahre, 3 Millionen Kosten	Total	20,00	120.000	2.400.000
Sonstiges (Telefon, Versicherungen, etc., Annahme 10% der AfA)	Total	1,00	97.600,00	97.600
Käfigkosten	Total	10,00	572.000,00	5.720.000,00
Generalüberholung Motor nach 10 Jahren	Total	1,00	240.625,00	240.625,00
Abschreibung auf Landgebäude, 1 Million, 25 Jahre Nutzungsdauer	Total	1,00	800.000,00	800.000,00
Netze	Total	10,00	200.000,00	2.000.000,00
Zinsen für Grundstück	Total	200.000,00	0,07	280.000,00
Installationskosten Käfige	Total	10,00	150.000,00	1.500.000,00
Zinsen auf fixes Kapital (7%)	Total	12.768.225	0,07	8.937.758
Gesamte Fixkosten				21.985.983
Gesamte Kosten				-78.076.359
Bruttoerlös				98.560.000,00
Bruttogewinn				20.483.641,50
Break-Even Preis				
Über variable Kosten			Euro	3.130,04
Über Gesamtkosten			Euro	4.356,94
Break-Even Ertrag pro m³ Käfig (Annahme Preis: 5,5 Eur/kg)				
Über variable Kosten			kg	14,23
Über Gesamtkosten			kg	19,80

Offensichtlich ist die marine Aquakultur für den Wolfsbarsch und die technische Variante freistehender Käfig kommerziell bereits jetzt Erfolg versprechend. Geklärt werden müsste jedoch z.B., ob die Lebensdauer der Käfige tatsächlich 20 Jahre beträgt, ob die angenommenen Wachstumsraten bis zur Marktreife tatsächlich eintreten und ob die angenommenen Kostenarten tatsächlich so realistisch sind, wenn es zu einer Umsetzung unter realen Bedingungen in der Nordsee kommt. Die Kalkulation zeigt genügend Puffer für evtl. Erlös schmälernde Abweichungen, wie einen Rückgang des erzielbaren Preises. Bei der angenommenen maximalen Besatzdichte am Ende der Auswuchsphase von 25 kg Fisch pro Kubikmeter Käfig reichen etwa 4,40 Euro pro Kilo Fisch ex Farm aus, um die Gesamtkosten zu decken. Anders betrachtet: 20 kg Ertrag an Fisch pro Kubikmeter Käfig decken die gesamten Kosten bei einem Preis von 5,50 pro kg Fisch. Für die Zukunft der marinen Aquakultur von Fischen in Offshore Windfarmen in der Nordsee lassen sich zudem allgemein folgende Aspekte aufführen, die bei Eintritt dieser Überlegungen eine erneute Prüfung der Profitabilität auch für andere Arten und Technologien sinnvoller Weise nahelegen. Zum einen sind noch keine möglichen Stückkostendegressionen der Käfige oder der Installationskosten berücksichtigt. Da diese die wesentliche Investition darstellen, führen hier Verringerungen der Stückkosten von etwa -30 % schon zu neuen Überlegungen. Eventuell könnten andere Materialien als Stahl kostengünstiger sein. Auch die Verankerung im Fundament der Windkraftanlagen statt der Verankerung der Käfige in den Räumen zwischen den WKA kann als ein kostentreibender Punkt betrachtet werden, da die Volumina der Käfige dadurch begrenzt sind. Hier ist weitere Forschung sinnvoll. Mögliche Synergieeffekte im Bereich Infrastruktur, Logistik und Arbeitseinsatz mit den Windfarmern kann vorerst nicht hinreichend genau beziffert werden, hier ist weitere empirische Forschung notwendig und sinnvoll, um an Hand eines Pilotkäfigs, möglichst schon in Verbindung mit dem Routinebetrieb eines Windparks, zu verlässlichen Aussagen kommen zu können.

7.3 Abschlussberichte der AG 3 - Technik und Design: Teil I: Fischkäfigdesign zur Aquakulturintegration in Offshore-Windparks

Partner: Bard, Franzius-Institut, Institut für Stahlbau, Kutterfisch, IMARE

Abkürzungen

Abb.	Abbildung
AG	Arbeitsgruppe
AWZ	Ausschließliche Wirtschaftszone
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
MSL	Mean Sea Level, Mittlerer Wasserspiegel
OWEA	Offshore-Windenergieanlagen
WEA	Windenergieanlage

Formelzeichen

Lateinische Buchstaben

EI	Biegesteifigkeit
H_{s50}	Signikante Wellenhöhe mit Wiederkehrperiode von 50 Jahren
T_p	Peak-Periode als inverse der Frequenz am Maximum des Seegangsspektrums
T_{m2}	Zero-up-crossing-Periode abgeleitet aus dem zweiten Moment des Seegangsspektrums

Einheiten

GW	Gigawatt
MW	Megawatt

7.3.1 Aufgabenstellung

Im Rahmen dieses Auftrags wurde die technische Machbarkeit von Fischkäfigen für die Aquakulturnutzung in Offshore-Windparks der deutschen Nordsee am Standort Veja Mate untersucht. Ziel war zum einen die Entwicklung von zwei Fischkäfigtypen, die in die Tripile-Tragstrukturen für Offshore-Windenergieanlagen des Projektpartners BARD integrierbar sind. Zusätzliche technische Herausforderungen für das Design der gesamten Offshore-Windenergieanlage durch die integrierten Käfigstrukturen wurden während des Predesigns der Käfige untersucht, sofern signifikante Auffälligkeiten festzustellen waren. Die Bewertung der Auswirkungen der zusätzlichen Käfiglasten auf die Dimensionierung der Tragstruktur der Offshore-Windenergieanlage ist nicht Gegenstand des Auftrags. Diese Aufgabe wurde von Firma BARD übernommen. Alternativ sollte ein auf den Meeresgrund absenkbarer Großkäfig entwickelt werden, der zentral zwischen den OWEA-Standorten im Windpark installiert wird.

Die Bearbeitung gliedert sich in vier Teilaufgaben:

1. Grundlagenermittlung und Festlegung einer Design-Basis
2. Geometrieentwicklung und Predesign für die drei Käfigvarianten
3. Begleitung der Modellversuche des Franzius-Instituts
4. Überarbeitung der numerischen Käfigmodelle auf Grundlage der Versuchsergebnisse und Optimierung der Käfigstrukturen

7.3.2 Einleitung

Entwicklung der Offshore-Windenergie

Die Umsetzung der politisch vereinbarten Ziele (national, europäisch und international) für den Klima- und Umweltschutz werden weltweit durch den verstärkten Ausbau der erneuerbaren Energien forciert. Erreicht werden sollen diese Ziele indem neben anderen erneuerbaren Energieformen besonders die Windenergie ausgebaut wird. In Deutschland soll der Ausbau der installierten Windleistung von 28.875 MW an Land (Stand 31.12.2011) durch eine Vielzahl von Offshore-Windenergieanlagen der Multimegawattklasse in Nord- und Ostsee erweitert werden (Ender 2012). Ende des Jahres 2011 waren lediglich 200,3 MW Windleistung offshore installiert. Aufgrund der erschwerten Installationsbedingungen auf hoher See sind zukünftig erhebliche Anstrengungen erforderlich, um entsprechend der politischen Plänen bis zum Jahr 2020 etwa 10.000 MW bzw. im Jahr 2030 rund 25.000 MW Offshore-Windleistung zu nutzen.

Neben der Überwindung von technischen Herausforderungen zur schnelleren Errichtung der Offshore-Windenergieanlagen (OWEA) steht die Steigerung der Wirtschaftlichkeit im Fokus von Industrie und Forschung. Derzeit liegen die Gestehungskosten für Windstrom auf hoher See ungefähr doppelt so hoch wie an Land. Zwar lässt sich der auf hoher See erzeugte Windstrom durch die stetigeren Windverhältnisse besser als verfügbare Leistung in die Verbrauchsprognose einplanen, weitere Optimierungen der Anlagen und multiple Nutzungen des im Aufbau befindlichen Produktions-, Infrastruktur und Logistiknetzes in Nord- und Ostsee sollen die Offshore-Windenergie auch wirtschaftlich konkurrenzfähig machen.

Multiple Nutzung von Tragstrukturen für OWEA

Die Tragstrukturen von Offshore-Windenergieanlagen tragen zur Zeit vorwiegend die ständigen Lasten und Betriebslasten aus der Windenergielage, das Eigengewicht sowie die hydrodynamischen Lasten aus Wellen und maritimen Umweltbedingungen sicher in den Baugrund ab. Zusätzlich ermöglichen spezielle Anbauten, sogenannte Boatlandings, den Zugang zur Anlage für Wartungsarbeiten und Inspektionen auf dem Wasserweg. Für diese Zwecke werden knapp 25 % der Gesamtkosten einer Offshore-Windenergieanlage in die Tragstruktur investiert. Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Open Ocean Multi Use (OOMU)“ wird unter anderem untersucht, ob sich aus technischer Sicht die

Tragstruktur einer Offshore-Windenergieanlage zusätzlich für die Integration eines Fischkäfigs eignet. In Zusammenarbeit mit dem OOMU-Partnerkonsortium aus Industrie und Forschung wird bewertet, inwieweit wirtschaftliche Synergien durch die multiple Nutzung der Tragstrukturen für OWEA zu erwarten sind. Hierbei steht besonders die Frage im Vordergrund, ob die Käfige in die Tragstrukturen integriert oder alternativ als freistehende, selbsttragende Großkäfige zwischen den Anlagen im Windpark aufgestellt werden sollten.

7.3.3 Grundlagenermittlung und Voruntersuchungen

Grundlagenermittlung

Zu Beginn des Projektes wurde in Zusammenarbeit mit den weiteren Projektbeteiligten geklärt, welche Randbedingungen bei der technischen Entwicklung der Käfigstrukturen zu Berücksichtigen sind. Die angestrebte Verbindung von Offshore-Windenergie und Fischzucht in Aquakulturen auf hoher See stellt für Forschung und Industrie Neuland dar. Gegenstand des Auftrags des Instituts für Stahlbau und gemeinsames Ziel der Untersuchungen durch die Arbeitsgruppe 3 „Technik und Design“ des Projektes OOMU ist die Entwicklung eines technisch machbaren Konzeptes für Aquakulturen in Offshore-Windenergieanlagen in der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone. Im Folgenden werden die für die Konzeptentwicklung relevanten Parameter vorgestellt.

Standort

Die erste wesentliche Festlegung war die Wahl eines Offshore-Standortes, der nach Vorgabe der Projektleitung in der deutschen Nordsee liegen sollte. Im Bereich der deutschen Bucht (Abb. 6) werden bezogen auf die Nennleistung rund 90 % der Offshore-Windparks geplant. Gesucht wurde ein Standort in größerer Wassertiefe, um das angestrebte Absenken der Käfigkonstruktionen bis kurz über den Meeresgrund sinnvoll zu ermöglichen. Diese Maßnahme führt zu einer erheblichen Reduktion der Lasten, wie in Abschnitt 0 und 0 bei den Voruntersuchungen zu den Wellenlasten gezeigt

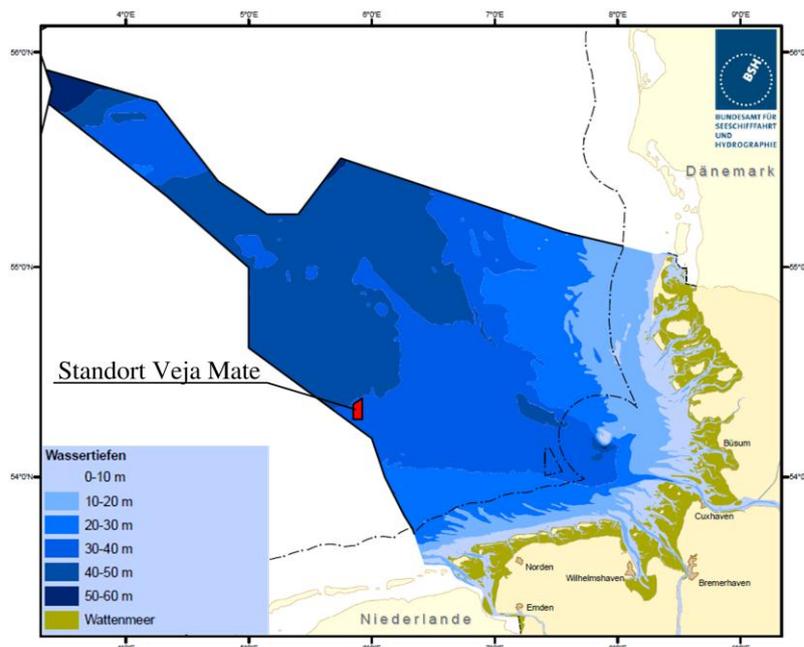


Abb. 06: Lage des Entwurfsstandortes Veja Mate in der deutschen Bucht in der Nordsee (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie 2012)

wird. Es wurde der Standort des genehmigten Offshore-Windparks Veja Mate der BARD-Gruppe gewählt. Mit rund 40 m Wassertiefe repräsentiert dieser Standort hervorragend die deutschen Nordseebedingungen mit großen Wassertiefen und großer Küstenentfernung. Abb. 06 zeigt die deutsche Bucht mit der örtlichen Verteilung der Wassertiefenbereiche bis 60 m. Die Fläche des Windparks Veja Mate ist in rot hervorgehoben und liegt direkt westlich des im Bau befindlichen Windparks BARD Offshore I. Veja Mate grenzt an den in Abb. in dunklem Blau dargestellten Wassertiefenbereich zwischen 40 und 50 m und befindet sich mit Küstenentfernung von etwa 114 km weit auf hoher See nahe der Gewässergrenze zu den Niederlanden. Es stellen sich erfahrungsgemäß in der deutschen Bucht aufgrund der freien Windanströmdistanzen von vielen hundert Kilometern vorherrschend Wellenbedingungen aus westlicher Richtung von Großbritannien sowie aus nordwestlicher Richtung von

der hohen Nordsee bzw. Norwegischen See ein. Ein besonderer Vorteil dieser Standortwahl waren die bekannten Daten zu erforderlichen Umweltbedingungen für die Auslegung der Käfigkonstruktionen. Die relevanten Informationen zum Windparks Veja Mate wurden dem meteo-marinen Hindcast (Günther und Weisse 2008) entnommen, der von Firma BARD freundlicherweise den Beteiligten im Projekt OOMU zur Verfügung gestellt wurde. Im Vergleich zum Standort BARD Offshore I weichen die zugrunde gelegten Umweltbedingungen nur unwesentlich ab und können als repräsentativ für beide Standorte angesehen werden. Die Ergebnisse scheinen direkt übertragbar zu sein.

OWEA-Tragstrukturtyp für integrierte Käfigvarianten

Eine wesentliche Entwurfsbedingung war der anzunehmende OWEA-Tragstrukturtyp, weil die Geometrie der integrierten Käfigvarianten hierauf abzustimmen ist. In Abb. 7 werden verschiedene Tragstrukturen gezeigt, die sich für Offshore-Standorte mit größeren Wassertiefen in Nord- und Ostsee eignen. Monopiles stoßen bei maximal 25 m Wassertiefe in der Nordsee an die Grenzen der technischen Machbarkeit und wurden daher nicht als Option betrachtet. Die Entscheidung über den Tragstrukturtyp wurde von der Projektleitung implizit bereits durch Aufnahme der

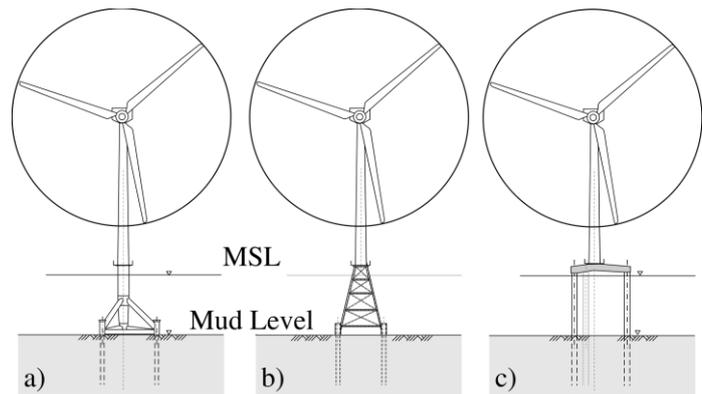


Abb. 07: Aufgelöste Tragstrukturen für OWEA a) Tripod b) Jacket c) Tripile

Firma BARD Engineering in das Projektkonsortiums getroffen. Nachfolgend wird die von der Projektleitung gewählte Tragstruktur beschrieben und aus technischer und geometrischer Sicht begründet. Die von BARD Engineering bevorzugt eingesetzte Tragstruktur, der sogenannte Tripile (Abb.8a), eignet sich laut Hersteller für Wassertiefen von bis zu 50 m. Der Tripile besteht aus drei Gründungspfählen, die während der Installation vom Installationsschiff aus durch eine Schablone gerammt werden. Hierdurch werden die Pfähle in der geplanten Grundrissstellung präzise positioniert. Die drei Gründungspfähle, spannen im Grundriss zwischen den Pfahlachsen ein gleichseitiges Dreieck mit 20 m Kantenlänge auf. In die gerammten Gründungspfähle, die rund 21 m oberhalb der Wasserlinie enden, wird das Stützkreuz (Abb. 8a) eingefädelt und nach Ausgleich der Höhentoleranzen kraftschlüssig durch Grouted Joints mit den Gründungspfählen verbunden. Die nutzbare Grundrissfläche ist in Abb. 8b) in grau

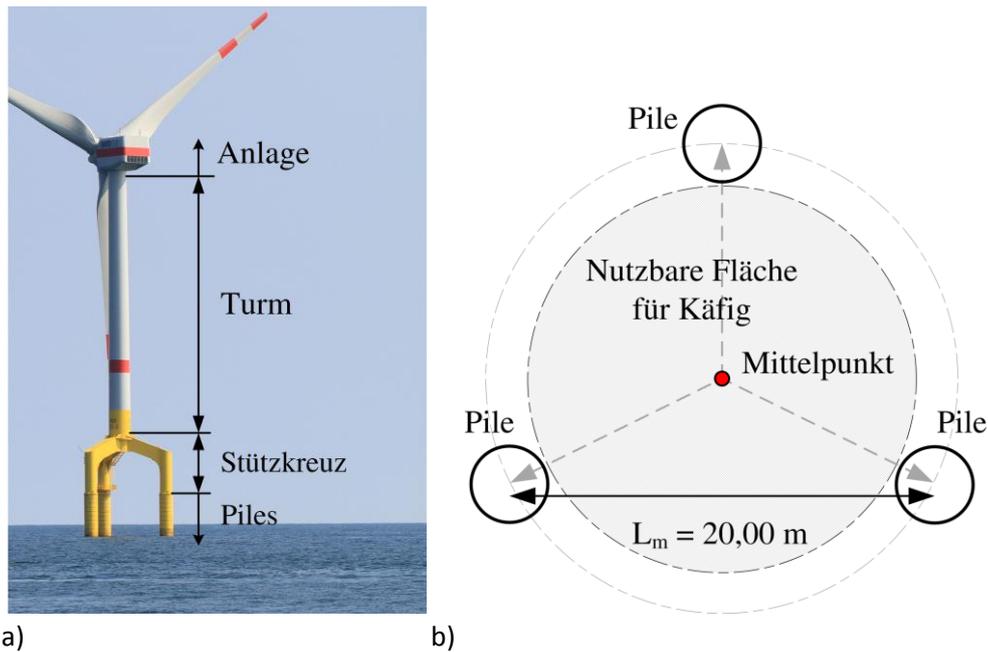


Abb. 08: a) BARD Offshore-WEA mit Tripile (Foto BARD Engineering) b) Nutzbare Grundrissfläche im Horizontalschnitt durch Tripile

dargestellt. Über die Höhe ergibt sich vom Meeresgrund aus bis rund 20 m oberhalb der Wasserlinie für den Fischkäfig ein freier zylinderförmiger Lichtraum, der sich ideal für die Integration einer Käfigkonstruktion für Aquakulturen geeignet. Oberhalb des Stützkreuzes befinden sich als Fortsetzung der Tripile-Substruktur Turm und Rotor-Gondeleneinheit. Im Vergleich zu anderen aufgelösten Tragstrukturtypen, wie die in Abb. 7 a) und b) gezeigten Tripods oder Jackets, sind die beschriebenen Verhältnisse ein Alleinstellungsmerkmal des Tripiles, weil auf fachwerkartige Aussteifungselemente zwischen den „Beinen“ des Tripiles verzichtet wird. Des Weiteren befindet sich aktuell der Windpark BARD Offshore I im Bau, sodass theoretisch in einem Anschlussvorhaben ein Prototyp der im Rahmen dieses Projektes favorisierten Käfigvariante in der Praxis erprobt werden könnte. Aus diesem Grund sollen für die integrierten Varianten vorwiegend nachträglich installierbare Anschlusskonstruktionen zwischen Käfig und Tripile untersucht werden. Für die freistehende Käfigvariante spielt die Art der Tragstruktur keine signifikante Rolle.

Installation und Betrieb der Aquakultur

Weitere Randbedingungen haben sich aus den Anforderungen durch den Bau und praktischen Betrieb der Aquakultur auf hoher See ergeben. Analog zu der Kostenstruktur von Offshore-Windenergieanlagen wird erwartet, dass die große Küstenentfernung erhebliche Kosten für den Bau- und Betrieb der Aquakultur nach sich zieht. In Abstimmung mit der Arbeitsgruppe 2 „Fischereiökonomie und Wirtschaftlichkeit“ und nach Vorgabe der Projektleitung soll bei den integrierten Käfigkonstruktionen das verfügbare Volumen maximal ausgenutzt werden, um einen biologisch verträglichen und wirtschaftlichen Betrieb zu ermöglichen.

Der Tripile bietet unter dem Stützkreuz grundsätzlich die Möglichkeit Hebezeuge zu befestigen mit denen die Käfigkonstruktion auf- und abgelassen werden kann. Bei diesem Montageprozess ist während des Hebevorgangs eine dreieckige Montage-traverse am Käfigkopf erforderlich, damit der Bau-

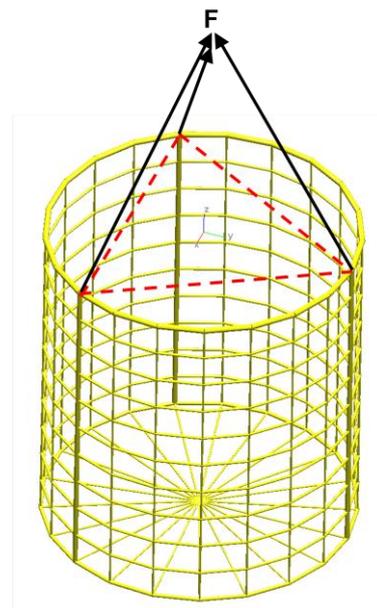


Abb. 09: Erforderliche Montage-traverse (rot gestrichelt) für Zylinderkäfig im Bauzustand

zustand die Querschnittsdimensionen des Käfigs nicht unnötig erhöht. Der Monatezustand wird exemplarisch in Abb. 9 gezeigt, die Montagetraverse ist rot gestrichelt dargestellt. Hierdurch wird eine Installation des Käfigs ohne weiteren Schwimmkran oder Jack-Up Barge möglich, wenn direkt bei der Planung und Fertigung der Tripile-Tragstruktur die nötigen Anschlussdetails im Design berücksichtigt werden. Für eine Prototyprealisierung wird empfohlen diese Option nicht zu nutzen, da sich nachträgliche Anschlüsse am Stützkreuz negativ auf die Ermüdungsfestigkeit und des den Korrosionsschutzes auswirken. Hier ist geplant einen oder mehrere Käfige auf einem Schwimmponton an den Standort zu schleppen und den jeweiligen mit Auftriebskörpern ausgestatteten Käfig durch Fluten des Pontons in die richtige Position zu bringen. Diese Art der Montage erfordert bessere Wetterbedingungen als das Einhängen und Ablassen an einem Hebezeug, welches am Stützkreuz befestigt ist.

Kandidaten zur Aufzucht in der Aquakultur

Entsprechend der aus biologischer Sicht vorgenommenen Kandidatenauswahl durch Arbeitsgruppe 1 „Biologie und Aquakultur“ wurden die potentiell geeigneten Fischarten zur Aufzucht evaluiert. Für einige der potentiellen Kandidaten sind alternativ zu einem frei umspannten Käfigvolumen Ablageebenen für die Fische vorzusehen. Die Ebenen dürfen aufgrund der vertikalen Bewegungsanteile der Wasserpartikel unter einem Wellendurchlauf nicht zu dicht übereinander angeordnet werden, weil ansonsten von einem regelmäßigen Andrücken der Fische gegen die eingezogenen Ebenen ausgegangen werden muss. Diese Stresssituationen sollen vermieden werden indem die Ebenen vertikal mit mindestens 1,50 m Abstand voneinander angeordnet werden. Im Rahmen des Predesigns wird auf der sicheren Seite von 1,75 m Abstand ausgegangen, weil dieses Maß sich geometrisch gut in die mögliche Käfighöhe einfügt und zu ca. 75 % der Nutzungsdauer die signifikante Wellenhöhe kleiner als der Ebenenabstand ist. Die Voruntersuchung dient dem Vergleich der Käfigvarianten mit und ohne Ablageebenen, um aus der final gewählten Konstruktionsart Kostenrahmen für beide Konstruktionen ableiten zu können. Die Änderung der Käfigpositionen vom Betriebszustand kurz über dem Meeresgrund bis in den Wartungszustand nahe der Wasseroberfläche (vgl. Abb 11) muss je nach Fischart bei gefülltem Käfig durch sehr langsame vertikale Bewegungen erzeugt werden. Durch zu schnelle vertikale Verschiebungen kann die gesundheitliche Fitness bestimmter Fischarten nachhaltig leiden. Auch um die Zuchtfische aus dem Bereich der oberflächennahen, maximalen Wasserpartikelgeschwindigkeiten von bis zu 10 m/s herauszuhalten, sollen bis kurz über dem Meeresgrund absenkbar Käfigkonstruktionen entwickelt werden.

Käfiggeometrie, Materialien und Korrosionsschutz

Für die integrierten Varianten werden steife, formstabile Rahmenkonstruktionen bevorzugt, um die gewünschte Formstabilität zu gewährleisten. Die tragende Grundkonstruktion wird im Rahmen dieses Projektes OOMU offshore typisch in Stahlbauweise hergestellt, weil ein Prototyp möglichst einfach und günstig hergestellt werden soll. Eine Ausführung in rostfreier Edelstahlbauweise (Werkstoff 1.4307 oder 1.4401) spart Kosten für den Korrosionsschutz, ist allerdings durch unwirtschaftliche hohe Kosten für das Grundmaterial im Vergleich zu den üblichen Baustählen für den Offshoreeinsatz keine Alternative. Zusätzliche Problemstellungen werden aufgrund der kombinierten Anwendung von schwarzem und weißem Stahl im Bereich der Tragstruktur und des Käfigs aufgeworfen. Eine weitere sehr interessante Möglichkeit auf den Korrosionsschutz für den Käfig zu verzichten, ist die Integration des Käfigs in den kathodischen Korrosionsschutz der Unterwasserzone der OWEA-Tragstruktur (Ebert 2011). Die Machbarkeit hängt hier von dem gewählten Befestigungssystem zwischen Fischkäfig und Tragstruktur ab und erfordert eine unbewegliche Käfigkonstruktion, damit der Schutzwirkung dauerhaft gewährleistet wird. Auch hier stellt sich die Frage nach dem Optimum hinsichtlich Kosten- und Nutzen. Ein Beschichtungsprozess eines stählernen Käfigs erlaubt das Aufbringen einer Antifouling-Beschichtung und vermeidet zusätzlichen Bewuchs am Käfig. Auch die Aufnahmen zur Befestigung des Netzes können durch eine solche Maßnahme weitgehend frei von Bewuchs gehalten werden. Den geringeren Wartungskosten durch größere Reinigungsintervalle einer beschichteten Konstruktion stehen die niedrigeren Investitionskosten eines unbeschichteten Käfigs

gegenüber. Für das Projekt OOMU wird in Abstimmung mit der Projektleitung aus den vorgenannten Gründen von einer beschichteten Konstruktion ausgegangen, damit die zusätzlichen Lasten auf die OWEA-Tragstruktur durch den Käfig möglichst gering ausfallen und der Wartungsaufwand besonders mit Blick auf einen angestrebten Prototypeneinsatz ebenfalls minimiert wird. Die Leistungsfähigkeit solcher kombinierten Beschichtungssysteme kann im Rahmen von Labortests oder einer Offshore-Pilotanwendung untersucht werden. Alternative Materialien wie Faserverbundwerkstoffe oder Kunststoffe sind durchaus denkbar, verursachen allerdings insbesondere vor dem Hintergrund der umfangreich vorhandenen Fertigungsstätten für Stahlkonstruktionen an der Nordseeküste nach Recherchen des Instituts für Stahlbau erhöhte Käfigkosten bei geringer Fertigungsstückzahl. Für die Entwicklung eines Käfigs zur Serienanwendung bieten sich die genannten alternativen Werkstoffe möglicherweise an. Ob für das Beanspruchungsniveau in der offenen Nordsee geringer feste Kunststoffe einsetzbar sind, kann aus den Ergebnissen dieser Konzeptstudie für stählerne Käfige direkt abgeleitet werden.

Netzwahl



Abb. 10: Mariner Bewuchs auf Netz einer Aquakulttur
(© S. Dürr)

Für die Käfigwände wird von der Arbeitsgruppe 1 eine Maschenweite von 40 mm, für die Ablageebenen eine Maschenweite von 6-15mm als sinnvoll erachtet. Für die Fadendicke kann nach Recherchen der Berichtverfasser in der Regel rund 1/10 der Maschenweite als sinnvolle Annahme angesehen werden. Weniger pflegeaufwendig, jedoch schwerer sind Netze aus Kupferlegierungen. Im Gegensatz zu anderen Netzmaterialien ist bei diesem besonderen Netzmaterial nicht von marinem Bewuchs auszugehen. Metallische Netze sind grundsätzlich schwerer, jedoch werden bei kupferlegierten Netzen zusätzliche ständige Lasten und

ein erhöhter Strömungswiderstand infolge marinen Bewuchses vermieden (vgl. Abb 10). Hierdurch wird das erhöhte Eigengewicht im Vergleich zu üblichen Netzmaterialien mehr als kompensiert. Die hydrodynamischen Eigenschaften eines klassischen Netzes mit moderatem marinem Bewuchs liegen nach Vergleichsrechnungen im Bereich der kupferlegierten Varianten. Die Netzauswahl hängt daher vorwiegend von den Investitions- und Wartungskosten und der Lebensdauer ab. Für Netzmaterialien ohne Anti-Fouling-Eigenschaften müssen die Käfige regelmäßig gereinigt oder durch geeignete andere Maßnahmen, wie z.B. Bewuchs vorbeugendem biologischem Mikroklima in und um die Aquakulttur, weitgehend frei von marinem Bewuchs gehalten werden. Ohne diese Randbedingung werden die Lasten durch den hohen Strömungswiderstand eines stark bewachsenen Käfigs praktisch beliebig groß. Im Extremfall würden die Wellenlasten auf den Käfig größer werden als die gesamten Wellenlasten auf die drei Pfähle des Tripiles. Die Reinigung eines klassischen Netzes kann auch aktiv erfolgen, in der Regel mit Tauchereinsatz, oder durch ferngesteuerte Reinigungsautomaten erledigt werden. Auch aus biologischer Sicht muss der Käfig gut durchströmt werden, um die Fitness der Zuchtfische nicht zu beeinträchtigen. Für die Käfigauslegung wird für das Predesign der hydrodynamische Widerstand einer Netzlage zuzüglich der Bewuchsdicke eines Fadendurchmessers angenommen. Diese Annahmen sind durch die hydraulischen Modellversuche des Franzius Insititus der Leibniz Universität Hannover zu bestätigen und fließen daher in die Versuchsplanungen mit ein.

Wartungsarbeiten

Ein Netzwechsel soll möglich sein und Wartungsarbeiten müssen während des Betriebs durchgeführt werden können. Beide Anforderungen verlangen nach einem vertikalen Heb- und Senkmechanismus für die Käfige. Hierbei wird davon ausgegangen, dass die Funktion der schienenartigen Absenkvorrichtungen durch Einsatz von automatischen Reinigungseinrichtungen nicht durch marinen Bewuchs beeinträchtigt wird. Mit ähnlichen Einrichtungen gibt es bei Aquakulturen in milderen Gewässern bereits erste Erfahrungen. Unklar ist, ob diese direkt auf die Verhältnisse in der offenen Nordsee

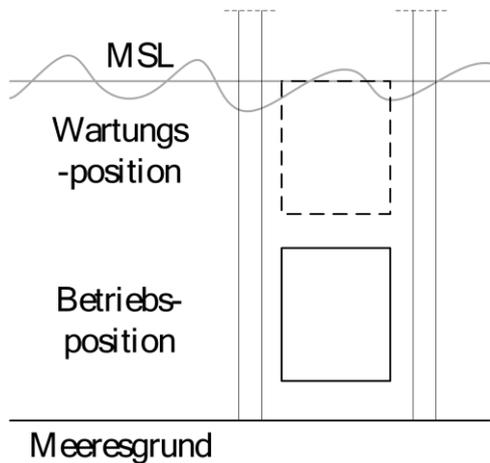


Abb. 11: Vertikale Käfigposition während Wartung und Betrieb

übertragbar sind. Eine Prototypanwendung würde sich daher auch für die Erprobung dieser erforderlichen technischen Peripherie anbieten. Als weitere Voraussetzung müssen für die genannten Nebenarbeiten entsprechend schiffbare Wetterbedingungen vorherrschen. Ein unterstützender Tauchereinsatz kann aus technischer Sicht nicht in allen Fällen ausgeschlossen werden. Gleichwohl lässt sich dieser Bedarf über eine umlaufende Zugangsmöglichkeit am Kopf des Käfigs oder als schwimmender Laufsteg zwischen den Piles stark minimieren. Im Idealfall kann dieser Laufsteg vom Stützkreuz des Tripiles aus abgelassen werden, um den Strömungswiderstand des Fischkäfigs im abgesenkten Zustand zu reduzieren. In diesem Projekt wird der zusätzliche Strömungswiderstand der Laufstegkonstruktion berücksichtigt, da nachträgliche Anbauten am Tripile vermieden werden sollen. Bei dem geplanten Betrieb von mehreren Aquakulturen in oder zwischen benachbarten OWEA bietet sich anstelle der zu berücksichtigenden Möglichkeit eines Netzwechsels ein kompletter Käfigtausch mit neuem Netz an, weil diese Arbeiten offshore auch unter mittleren Wellenbedingungen bis etwa 2,50 m Wellenhöhe durchgeführt werden können. Die Fische können in dem neuen Käfig übergesetzt werden, welcher direkt vor die OWEA eingeschwommen wird oder im Bauch des Wartungsschiffes zwischengespeichert werden. Für regelmäßige Wartungsarbeiten wird der Käfig mit der Oberkante bis an die Wasseroberfläche gehoben und am oberen Ende des Käfigs mit der erwähnten stegartigen Behebungsmöglichkeit ausgestattet. Der Zustand der Fische kann so von den Betreibern in diesem Wartungszustand visuell überprüft werden.

übertragbar sind. Eine Prototypanwendung würde sich daher auch für die Erprobung dieser erforderlichen technischen Peripherie anbieten. Als weitere Voraussetzung müssen für die genannten Nebenarbeiten entsprechend schiffbare Wetterbedingungen vorherrschen. Ein unterstützender Tauchereinsatz kann aus technischer Sicht nicht in allen Fällen ausgeschlossen werden. Gleichwohl lässt sich dieser Bedarf über eine umlaufende Zugangsmöglichkeit am Kopf des Käfigs oder als schwimmender Laufsteg zwischen den Piles stark minimieren. Im Idealfall kann dieser Laufsteg vom Stützkreuz des Tripiles aus abgelassen werden, um den Strömungswiderstand des Fischkäfigs im abgesenkten Zustand zu reduzieren. In diesem Projekt wird der zusätzliche Strömungswiderstand der Laufstegkonstruktion berücksichtigt, da nachträgliche Anbauten am Tripile vermieden werden sollen. Bei dem geplanten Betrieb von mehreren Aquakulturen in oder zwischen benachbarten OWEA bietet sich anstelle der zu berücksichtigenden Möglichkeit eines Netzwechsels ein kompletter Käfigtausch mit neuem Netz an, weil diese Arbeiten offshore auch unter mittleren Wellenbedingungen bis etwa 2,50 m Wellenhöhe durchgeführt werden können. Die Fische können in dem neuen Käfig übergesetzt werden, welcher direkt vor die OWEA eingeschwommen wird oder im Bauch des Wartungsschiffes zwischengespeichert werden. Für regelmäßige Wartungsarbeiten wird der Käfig mit der Oberkante bis an die Wasseroberfläche gehoben und am oberen Ende des Käfigs mit der erwähnten stegartigen Behebungsmöglichkeit ausgestattet. Der Zustand der Fische kann so von den Betreibern in diesem Wartungszustand visuell überprüft werden.

Design-Basis

Normative Grundlage

In Anlehnung an den Zertifizierungsprozess für Offshore-Windenergieanlagen werden für die Dimensionierung der Fischkäfige die relevanten Regelungen nach der Richtlinie für die Zertifizierung von Offshore-Windenergieanlagen des Germanischen Lloyd beachtet (Germanischer Lloyd 2005), die in wesentlichen Teilen auf der Norm EN 61400-3:2009 aufbaut. Diese Vorgehensweise ist unter Umständen konservativ, stellt jedoch ein Minimum an Konfliktpotential für eine potentiell zu realisierende Zertifizierung der Offshore-Windenergieanlage mit in der Tragstruktur integrierter Aquakultur. Der autarke Großkäfig wird analog dimensioniert, um das Gefahrenpotential des Anpralls von abgerissenen Käfigteilen zu minimieren. Umfangreiche Kollisionsanalysen sollen durch diesen Ansatz vermieden werden.

Standortkoordinaten

Die Koordinaten (GKS 84) des Windparkbereichs, in dem 77 der 80 geplanten Anlagen geplant sind, werden als Standort angenommen und lauten laut Genehmigung (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie 2009):

54°20'30,07" N 05°49'43,30" O

54°22'36,71" N 05°54'34,61" O

54°16'29,11" N 05°49'38,99" O

54°16'29,44" N 05°54'37,32" O

Wassertiefe

Die Designwassertiefe liegt zwischen 39 und 42 m am Standort Veja Mate (Günther und Weisse 2008). Mit 40 m wird eine ingenieurmäßige Annahme im unteren Drittel der Wassertiefenbandbreite getroffen, da mit abnehmender Wassertiefe die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen der Wasserpartikel unter einer Welle nichtlinear zunehmen. Diese Annahme ist konservativ hinsichtlich der Wellenlasten im Vergleich zur Modellwassertiefe von 42 m von Günther und Weisse für die Berechnung der Seegangsbedingungen. Die gewählte Wassertiefe bildet die vorliegenden Verhältnisse des bereits teilweise im Betrieb befindlichen Offshore Windparks BARD Offshore I ebenfalls gut ab.

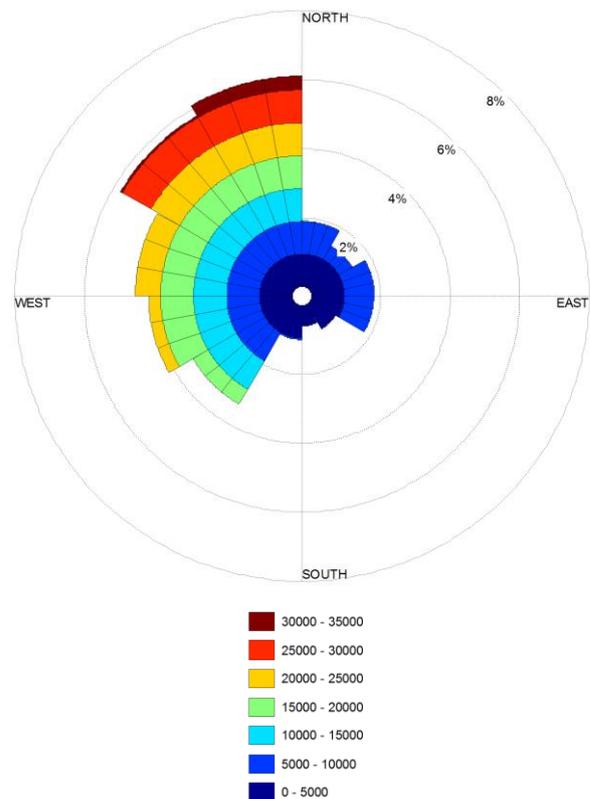


Abb. 12: Directional Wave Scatter des Standorts Veja Mate mit relativen zeitbezogenen Häufigkeiten in Stunden

Seegang

Die Richtungsinformationen zum Seegang (Günther und Weisse 2008) wurden grafisch ausgewertet und bestätigen die geschilderten Erfahrungen in Abschnitt 0 des Instituts für Stahlbau aus anderen Projekten. Abb. 12 zeigt die dominante Welleneinlaufrichtung am Standort Veja Mate aus nord-nord-west. Diese Wellenrichtungsverteilung wird bei der Schadensakkumulation der auf den Käfig wirkenden Ermüdungslasten berücksichtigt.

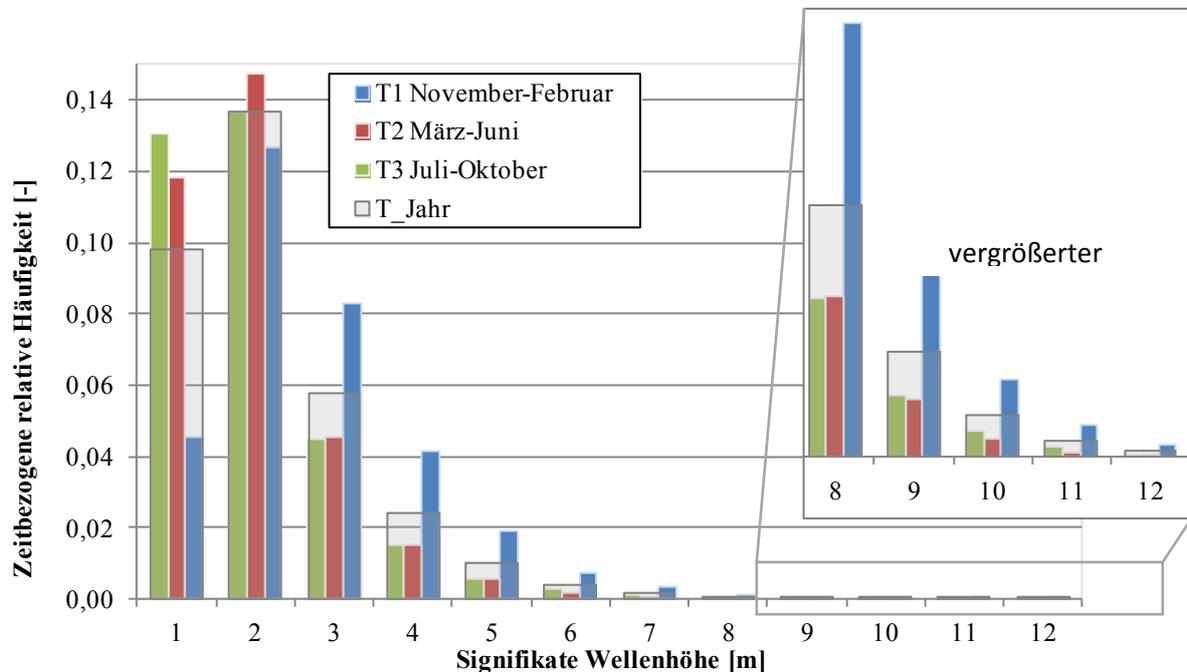


Abb. 13: Wellenhöhenverteilungsdigramm am Standort Veja Mate (Klassenbreite 1m)
Zeitbezogene relative Häufigkeit für Klassen der Wellenhöhe (h-1m) bis h

Bei der detaillierten Auswertung der signifikanten Wellenhöhen über ein Wellenhöhenverteilungsdigramm wurde zusätzlich zu den Betrachtungen über das ganze Jahr nach eine Einteilung in drei 4-monatige Abschnitte vorgenommen, um mögliche Potentiale der Lastreduktion einer saisonweisen Nutzung der Aquakultur aufzuzeigen. In Abb. 13 sind die zeitbezogenen relativen Häufigkeiten der signifikante Wellenhöhen für die drei Trimester November bis Februar, März bis Juni und Juli bis Oktober als bunte Säulen sowie die relativen Häufigkeiten für den ganzen Jahresgang als graue Säule dargestellt. Sollte die Winterperiode von November bis Februar mit der größten Auftretenswahrscheinlichkeit für Extremereignisse aus der jährlichen Nutzungsperiode bei bestimmten Aquakulturprojekten ausgeklammert werden, können die Lasten für den Käfig und die Tragstruktur der OWEA durch Abminderung der signifikanten Wellenhöhe um rund 3-4 m drastisch reduziert werden. Bemerkenswert ist dies, weil bei Annahme einer Wiederkehrperiode für die Extremereignisse von 10 statt 50 Jahren die signifikante Wellenhöhe nur um rund 1 m abnimmt. Auch Prototypkäfige könnten auf dieser Grundlage an Tragstrukturen ohne ausreichende Reserve für zusätzliche Käfiglasten unter Extremereignissen in den milden Sommermonaten aus statischer Sicht sinnvoll erprobt werden. Im Rahmen des Projektes OOMU wird eine ganzjährige Aufzucht angestrebt. Für die Auslegung der Käfige gegen Ermüdung wird die Wellenhöhenverteilung „T_Jahr“ nach Abb. berücksichtigt (graue Säulen). Ein Vergleich des Wintertrimesters (blaue Säulen) mit dem Frühjahr- und Herbsttrimester (rote und grüne Säulen) zeigt deutlich den Einfluss der großen Häufigkeit von extremen Seegangszuständen in der Winterzeit auf die Häufigkeiten der grauen Jahressäule.

Strömung

Die Strömungsgeschwindigkeiten können für den Zeitraum von 1958-2003 ebenfalls dem vorliegenden Hindcast (Günther und Weisse 2008) entnommen und sind grafisch Abb. 14 zusammengefasst.

Die Strömungsgeschwindigkeiten wurden über die Wassertiefe gemittelt. Die Angegebenen Werte werden übernommen, da diese für die Höhenlage des Käfigs im Betriebszustand moderat auf der sichereren Seite liegen und der temporäre Wartungszustand des Käfigs nahe der Wasseroberfläche nach eigenen Vergleichsrechnungen für die Dimensionierung nicht maßgebend ist.

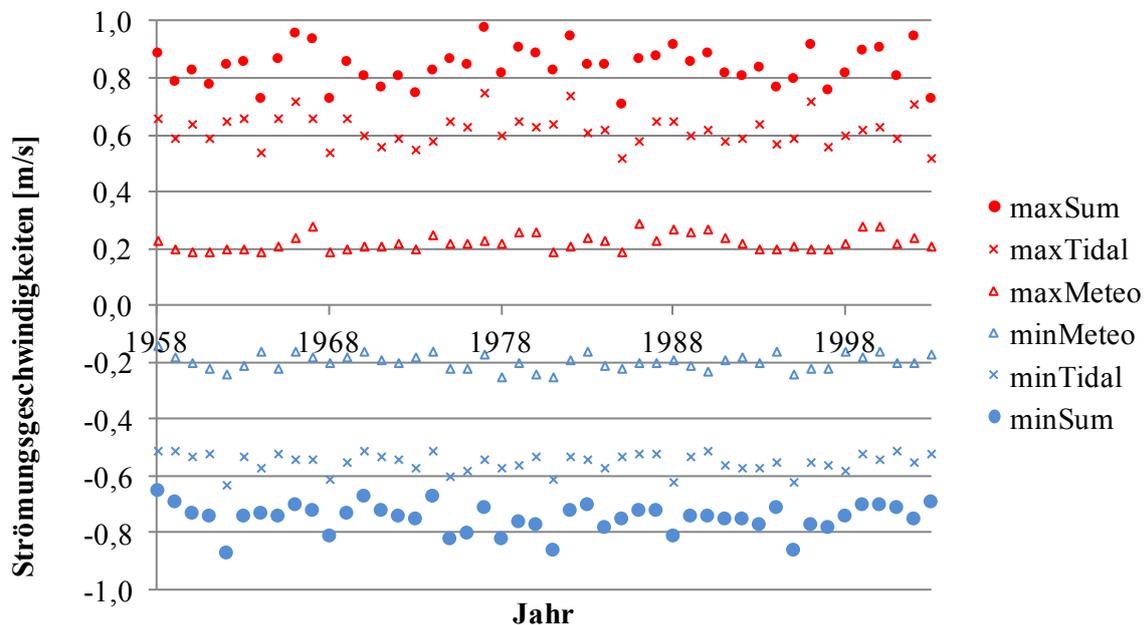


Abb. 14: Strömungsgeschwindigkeiten am Standort Veja Mate nach Günther & Weisse, 2006

Die superponierten Strömungsgeschwindigkeiten maxSum/minSum in Abb. resultierend aus gezeitenbedingten und meteorologisch bedingten Strömungen erreichen unabhängig von der Richtung den betragsmäßig größten Wert von 0,98 m/s. Aufgrund des langen Auswertungszeitraums der Strömungsgeschwindigkeiten scheint eine statistische Analyse entbehrlich. Für die Bemessung der Käfige wird der Ansatz einer Strömungsgeschwindigkeit von 1,0 m/s als ausreichend angesehen. Optimierungsbetrachtungen für den Serieneinsatz sollten den Einfluss der Strömungsgeschwindigkeit auf das Gesamtdesign der OWEA und des Käfigs detaillierte in Betracht ziehen, da der Einfluss der strömungsinduzierten Lasten voraussichtlich zunimmt durch den zusätzlichen Käfig.

Seegangparameter für Extremereignisse und vereinfachte Ermüdungsuntersuchungen

Extremereignisse

Die angenommene Wiederkehrperiode für die signifikante Wellenhöhe zur Ermittlung der Bemessungswellenhöhe beträgt 50 Jahre. Nach Abschnitt 4.2.3.1.4 der GL-Richtlinie für die Zertifizierung von OWEA (Germanischer Lloyd 2005) können aus der signifikanten Wellenhöhe H_{s50} die Bemessungswellenperiode und Bemessungswellenhöhe abgeleitet werden. H_{s50} entspricht am Standort Veja Mate einer Höhe von 10,81 m (IMS Ingenieurgesellschaft 2008).

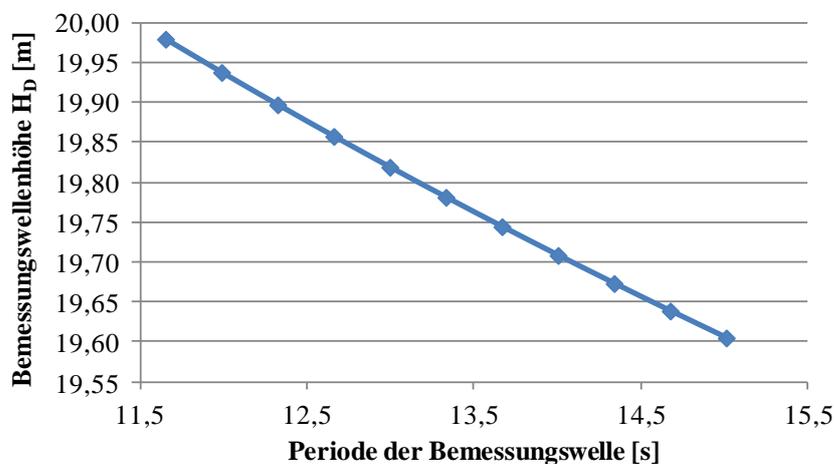
$$11,1\sqrt{H_{s50}/g} \leq T_D \leq 14,3\sqrt{H_{s50}} \quad \text{Gl.1}$$

$$11,7 s \leq T_D \leq 15,0 s \quad \text{Gl.2}$$

Daraus lassen sich die zugehörigen Bemessungswellenhöhen ermitteln, die knapp unter 20 m liegen. Die Ergebnisse der Bemessungswellenhöhe und der zugehörigen Wellenperiode sind in Tabelle 17 dargestellt. An dieser Stelle sei angemerkt, dass nach Aussage von BARD Engineering die Bemessung der OWEA für Bemessungswellenhöhen kleiner 20 m durchgeführt wurde. Diese Kennwerte ergeben sich auf Grundlage der Extremwertauswertung der IMS Ingenieurgesellschaft. Nach den Angaben im Bericht von (Günther und Weisse 2008) ergeben sich etwa 0,5 m höhere Bemessungswellen.

Tabelle 17: Designparameter von Wellenperiode und Wellenhöhe

T_D [s]	H_D [m]
11,7	19,98
12,0	19,94
12,3	19,90
12,7	19,86
13,0	19,82
13,3	19,78
13,7	19,74
14,0	19,71
14,3	19,67
14,7	19,64
15,0	19,61



Wellenperiode für Ermüdungsuntersuchungen

Im Gegensatz zum Vorgehen zur Festlegung der Randbedingungen der Modellversuche durch das Franzius Institut der Leibniz Universität Hannover wird der charakteristische Seegangparameter T_{m2} , welcher der sogenannten Zero-Up-Crossing-Periode entspricht und aus dem zweiten Moment des Seegangs abgeleitet werden kann (Det Norske Veritas 2010). Für die Simulation von Seegängen ist dieser Parameter verbreitet und im Rahmen der verwendeten Wellentheorien geeigneter als die Peak-Periode T_p .

Vereinfachte Ermüdungsuntersuchungen

Für die Geometrieentwicklung wird zunächst ein möglichst einfacher Ansatz zur groben Abschätzung der Ermüdungslasten gesucht. Aus Mittelung der Parameter des vorliegenden Wellenspektrums stellt eine Ersatzwellenhöhe H von 3,5 m nach linearer Wellentheorie mit einer Periode T von 6,5 Sekunden eine sinnvolle Annahme als mittlere Ermüdungswelle für die Geometrieentwicklung dar. Innerhalb der als vorläufig angenommenen Auslebensdauer von 20 Jahren durchlaufen

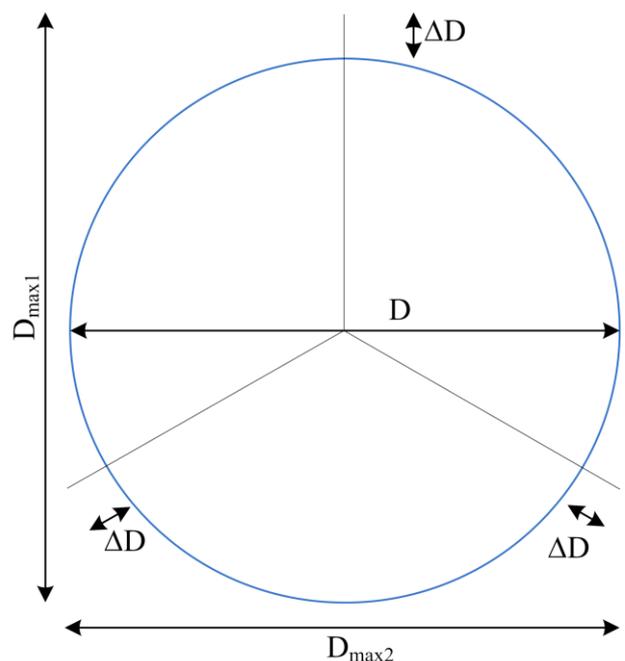


Abb. 15: Schematische Grundrissgeometrie des integrierten Käfigs mit Befestigungskonstruktion

20x365x24x60x60/6,5 = 97 Mio. ($\approx 10^8$) dieser Ersatzwellen den Käfig. Die schädigungsäquivalente Ermüdungswelle des Spektrums hat die Parameter $H = 13$ m, $T = 9$ Sekunden und $N = 1.8 \cdot 10^6$ und liegt damit nahe der für den Nachweise praktikablen $N = 2 \cdot 10^6$.

Geometrierandbedingungen

Integrierte Käfigvarianten

Geometrisch wird im Grundriss die runde Form zwischen den drei Gründungspfählen (Piles) des Tripiles aufgenommen, um mit der Konstruktion der Anforderung nach maximalem Käfigvolumen zu genügen (vgl. Abb 3b). Zusätzlich muss der Käfig selbst für den Einschwimmvorgang einen definierten Abstand zu den Piles aufweisen, um eine einfache Montage zu ermöglichen. Hierbei muss zu dem Außendurchmesser eines runden Käfigs der Abstand für die Befestigungsstruktur eingeplant werden. Im Entwurfsstadium wird hierfür der mögliche Käfigdurchmesser umlaufend um 2,50 m reduziert. Der Befestigungsstruktur am Tripile werden 2/3 dieser Länge, der Käfigkonstruktion 1/3 zugeordnet. Die Auswertung der geometrischen Zusammenhänge führt zu folgenden Gleichungen maximalen Abmessungen, die in den Tripile mit einem Schwimmponton eingeschwommen oder eingehoben werden können.

$$D_{\max, \text{Inkreis}} = d_{\text{Tripile}} - d_{\text{Pile}} - 2 \cdot \Delta D \quad \text{Gl.3}$$

$$D_{\max, \text{LichtPiles}} = L_{\text{Achsabstand, Piles}} - 2 \cdot \left(\frac{d_{\text{Pile}}}{2} + \frac{2}{3} \Delta D \right) \cdot \cos(30^\circ) \quad \text{Gl.4}$$

Dem Gegenübergestellt werden die maximalen Käfigabmessungen nach Abb., die mögliche Käfigdrehungen zwischen den Piles während der Installation berücksichtigen.

$$D_{\max 1} = D + \Delta D \quad \text{Gl.5}$$

$$D_{\max 2} = (D + 2 \cdot \Delta D) \cdot \cos(30^\circ) \quad \text{Gl.6}$$

Gleichung 2.3 ist für Verhältnisse $\frac{D}{D} \leq 0,183$ maßgebend und trifft bei den vorliegenden geometrischen Randbedingungen in der Regel zu. Die Auswertung der vorstehenden Gleichungen erlaubt einen Käfigaußendurchmesser von rund 14 m.

In der Höhenausdehnung bietet sich die Entwicklung der Kreisform zum einen durch simple vertikale Extrusion zu einem Zylinder an, zum anderen eine Kugelform. Der Zylinder stellt das maximale Volumen im Tripile für die Fischzucht bereit. Die Kugel hat weist ein wesentlich kleineres Volumen, allerdings auch aus statischer Sicht eine nahezu optimale Form auf, weil eine Gewölbe bzw. Kuppelwirkung ausnutzt wird. Der Zylinder ist eine biegebeanspruchte ringförmige Konstruktion, bei der in der weiteren Entwicklung die Beanspruchungssingularitäten an den rahmenartigen Eckpunkten berücksichtigt werden müssen.

Absenkbarer Großkäfig

Der Großkäfig wird mit dem Ziel einer möglichst einfachen Fertigung und Montage konstruiert. Die Anzahl der Stäbe soll gering sein, um den Aufwand für die Fügearbeiten zu minimieren. Es wird daher eine quadratische Grundrissform vorgeschlagen. Die Abmessungen können im Grundriss praktisch beliebig groß werden. Das Volumen vorhandener Konstruktionen Großkäfige in Rah-

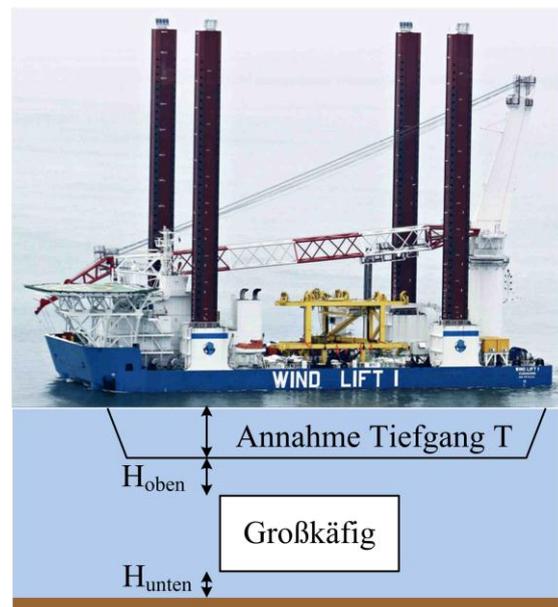


Abb. 16: Überfahrt eines Schiffes über Großkäfig (Bild © BARD Gruppe)

menbauweise kann bis zu 20.000 m³ betragen (Scott und Muir 2002). In der vertikalen Ausdehnung sind die Abmessungen der zukünftigen Generationen von Installation- und Wartungsschiffen zu berücksichtigen, die von BARD Engineering abgeschätzt wurden. Ein Tiefgang der überfahrenden Schiffe von etwa 8 m soll berücksichtigt werden. Als Abstand zur mittleren Wasserlinie werden mit 2 m Sicherheitszuschlag 10 m angenommen.

Befestigungskonstruktion und Gründung

Integrierte Käfigvarianten

Die Anschlusskonstruktion wird bei den integrierten Käfigen vollständig außerhalb des Zuchtvolumens angeordnet, um Netzbeschädigungen zu vermeiden. Ein vertikales Verfahren des Käfigs in einer schienenartigen Leitkonstruktion an den drei Piles der OWEA wird so möglich. Zur Dimensionierung der Anschlusskonstruktion sind erweiterte Fragestellungen zu untersuchen, die im Rahmen dieses Auftrags nur in begrenztem Umfang in Betracht gezogen können. Daher wird nach eingehendem Abwägen der möglichen Alternativen direkt eine Annahme getroffen, die sich aus der folgenden Diskussion ergibt. Grundsätzlich können drei Ansätze bei der Dimensionierung der Anschlusskonstruktion verfolgt werden:

1. Überdimensionierung der Verankerung zur Sicherstellung der Käfigposition auch unter unplanmäßig hoher Belastung
2. Auslegung für definierte Maximallast, die in Abstimmung mit dem Designer der OWEA-Tragstruktur festzulegen sind, um einer Überbelastung der Substruktur zu vermeiden
3. Einbau von gezielten Schwachstellen in den Käfig, welche bei Überlastung ausfallen oder Alternativ aufreißen des Netzes zur Lastbegrenzung

Die erste Herangehensweise würde im Extremfall die großen Lasten eines vollständig bewachsenen, hydrodynamisch intransparenten Käfigs in die OWEA-Substruktur einleiten. Dies kann zu unplanmäßigen Schäden an der Tragstruktur führen und gegebenenfalls ein vollständiges Versagen der ganzen OWEA zur Folge haben. Aus diesem Grund wird der zweite Ansatz bzw. dritte Punkt im Projekt OOMU verfolgt. Im zweiten Fall wird der Käfig für die prognostizierte Maximallast an die Substruktur angeschlossen, sodass eine Überbelastung ausgeschlossen werden kann. Im dritten Fall werden nur lokale Stab- oder Netzbereiche des Käfigs gegen die maximale Auslegungslast ohne Sicherheit dimensioniert, um die zusätzliche Last auf die OWEA gezielt zu begrenzen. Gewählt wird der zweite Vorschlag. Auf dieser Grundlage ist eine Optimierung der Anschlusskonstruktion hinsichtlich der Ermüdungsfestigkeit nicht primäres Ziel, sondern das planmäßige Versagen unter der definierten Maximallast. Dieser Anschluss an die Piles muss punktuell erfolgen, weil die daran befestigten Anoden mit Halterungen direkt im geplanten Tiefenbereich des Käfigs liegen (Ebert 2011). Nachteilig ist diese Festlegung insbesondere für den Betreiber der Aquakultur, da bei geringfügiger Überbelastung planmäßig von einem Abtreiben des Käfigs ausgehen muss. Eine Erprobung in den beiden mildereren Trimestern des Jahres entsprechend der Definition in Abschnitt 0 wird daher dringend empfohlen. Zusätzlich zur festen Verankerungskonstruktion sollte der Käfig in diesem Fall durch ein oder mehrere Sicherungsseile mit den Gründungspfählen auf Höhe des Meeresgrunds des Tripiles verbunden werden. In dieser Höhenlage kann die Gründung des Tripiles die zusätzlichen Horizontallasten abtragen, weil die Piles selber durch die tiefe Krafteinleitung nur marginal auf Biegung beansprucht werden.

Großkäfig

Eine Verankerung des Großkäfigs kann auf drei Arten erfolgen. Eine steife Verankerung an den OWEA-Gründungen, eine flexible Verankerung analog einer mooring line für schwimmende OWEA oder eine autarke Gründung in direkter Käfignähe. Auch Kombinationen sind möglich. Eine Verankerung an den Piles der OWEA wird aufgrund der langen Seillängen von mehr als einem halben Kilometer ausgeschlossen, weil jeglicher Seilverlauf in einem gesamten Feld zwischen 4 OWEA im Windpark von BARD Engineering als untragbar erachtet wird. Eine flexible Verankerung bietet sich für schwim-

mende Käfigkonstruktionen an, die sich durch Bewegung mit dem Wellenfeld der Wellenlast entziehen, sofern das Verhältnis von Wellenhöhe und Wasserhöhe, die sogenannte Wellensteilheit, klein ist. Diese Verhältnisse liegen insbesondere ab signifikanten Wellenhöhen von mehr als 5 m nicht mehr vor. Eine Reduktion der Extremlasten durch eine flexible Verankerung ist daher nicht sinnvoll möglich, weil die Wasserpartikelbewegungen im Vergleich zu den möglichen Käfigbewegungen groß sind. Aus diesem Grund wird nach überschläglichen Berechnungen eine flexible Käfigverankerung für die offene Nordsee verworfen, sofern es sich wie in diesem Fall um Großkäfige handeln soll. Für kleinere Käfige, die in der Nähe des Meeresgrundes betrieben werden und keine nennenswerte Höhe im Verhältnis zur Wassertiefe aufweisen, können flexible Befestigungen sinnvoll sein.

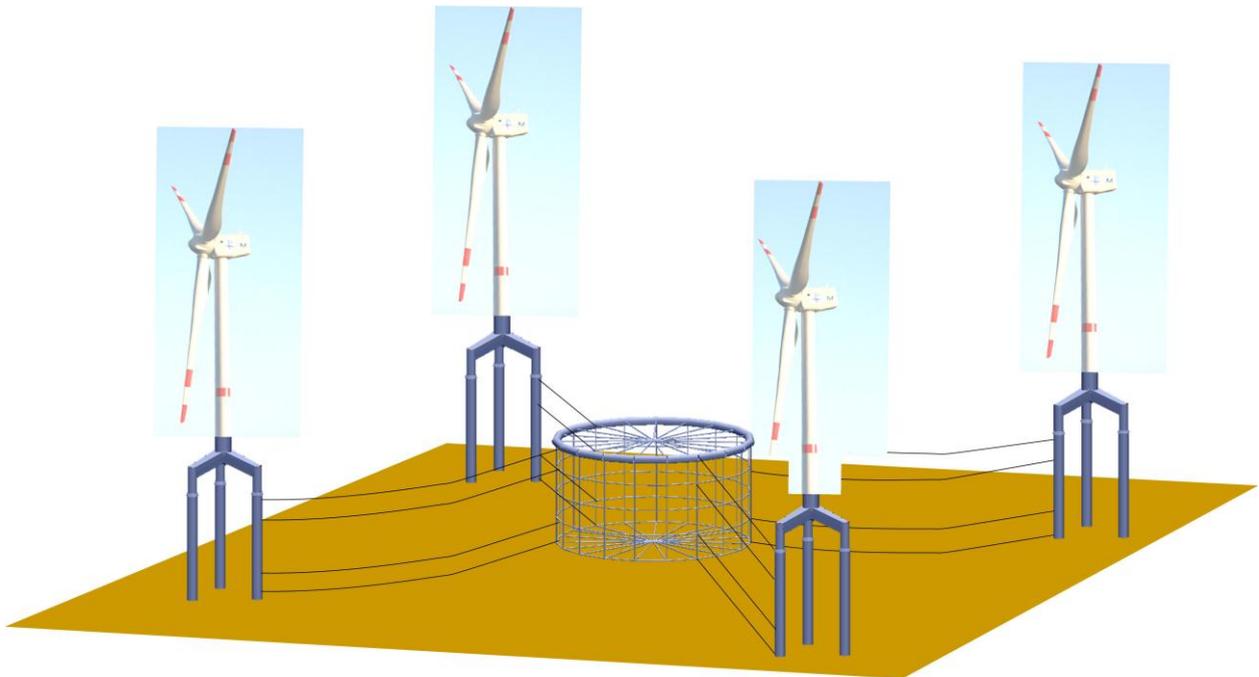


Abb. 17: Fotomontage eines schwimmenden Großkäfigs zwischen den BARD OWEA (Institut für Stahlbau)

Ablageebenen für Fische

Zur Ablage der Fische im Käfig können optional Ebenen in jeder der Käfige vorgesehen werden. Aus statischer Sicht sollten Ebenen nicht nur dem Abtrag der vertikalen Lasten aus Fischbesatz dienen, der laut Projektleitung zu rund 25 kg/m^2 angenommen werden kann. Ein Heranziehen der Ebenen als Aussteifungselemente ist besonders für den Zylinderkäfig wünschenswert. Die zusätzliche Stahlmasse für die Fischebenen kann durch diesen Ansatz im Außenring des Käfigs mehr als wieder eingespart werden. Der Fertigungsaufwand steigt hingegen durch die zusätzlichen Stahlbauteile an. Ebenen im Großkäfig stellen primär eine zusätzliche Belastung unter Welleneinfluss dar, solange keine vertikalen Aussteifungselemente in der Mitte des Käfigs eingezogen werden.

Verbindungstechnik

Als Verbindungstechniken werden die klassischen Stahlbaufügetechniken eingesetzt: Schweißnähte und Schrauben. Ist eine modulare Konstruktion in den Knotenbereichen aufgrund wiederholender Detailgeometrie möglich, werden gegossene Knotenbereiche ebenfalls in Betracht gezogen. Im Bereich der Gründungspfähle des Tripiles sind lösbare Verbindungen erforderlich, um die nachträgliche Installation eines Prototyps zu ermöglichen.

Korrosion

Für OWEA gibt es noch keine wissenschaftlich abgesicherten Ansätze, die eine sichere und wirtschaftliche Auslegung der Tragstrukturen für die aktuelle und nächste Generation von OWEA ermöglichen. Für die Korrosion der Käfige werden für 20 Jahre Lebensdauer folgende Annahmen getroffen:

- 3,0 mm Korrosion durch vorwiegenden Betrieb in Unterwasserzone
- (Umgebungsbedingungen Im2 nach DIN EN ISO 12944-3)
- 1,0 mm Korrosion bei kombinierter Korrosionsschutz- und Antifoulingbeschichtung
- (Umgebungsbedingungen Im2 nach DIN EN ISO 12944-3)

Das Dritteln der Korrosionsrate durch den Korrosionsschutz ist eine Annahme, die im Rahmen eines Prototypentests überprüft werden sollte. Für diese Machbarkeitsstudie scheinen diese Werte als ingenieurmäßig sinnvoll und unkritisch, zumal eine regelmäßige Überprüfung ohne großen Aufwand möglich ist und große Käfiginspektionen- bzw. Reinigungen etwa alle 5 Jahre aus technischer Sicht durchgeführt werden sollten.

Nachweis der Ermüdungsfestigkeit

Die Käfige werden aus Rohrprofilen konstruiert, wie es für Offshore-Stahlkonstruktionen üblich ist. Die Nachweise gegen Ermüdung werden nach dem Strukturspannungskonzept geführt. Dies erfolgt beim Strukturspannungskonzept gegen eine Ermüdungsfestigkeit FAT 100 entsprechend den Empfehlungen des International Institute of Welding (IIW). Aufgrund der fehlenden Hinweise des IIW zum Einfluss der Korrosion auf die Ermüdungsfestigkeit wird auf die Ermüdungsfestigkeitsnachweise nach DNV-RP-C203 (Det Norske Veritas 2010) zurückgegriffen. Strukturbedingte Spannungskonzentrationen werden durch eine Berechnung der Knotenverbindungen nach der Finite Element Methode erfasst. Lokale Einflüsse der Schweißnaht werden über den genannten Kerbfall berücksichtigt. Im ersten Schritt der Predesign-Phase stehen die Abmessungen der Konstruktion nicht fest und müssen geschätzt werden. Aufgrund des nichtlinearen Einflusses der Spannungsamplitude auf die Ermüdungsschädigung sind bei einem strikt iterativen Vorgehen nach dem Strukturspannungskonzept signifikante Querschnittsänderungen vom ersten bis etwa dritten Iterationsschritt zu erwarten. In diesem Stadium wird zur Beschleunigung der Vorbemessung gegen Ermüdung im Mittel von einem Spannungskonzentrationfaktor (SCF) 3,0 ausgegangen, welcher für vorwiegend aus der Rahmenebene biegebeanspruchte Knoten mit geringer Normalkraftbeanspruchung eine voraussichtlich konservative Größenordnung darstellt. Der Einfluss der Blechdicke bleibt unberücksichtigt, weil eine maximale Dicke von 25 mm erwartet wird. Für eine geschätzte mittlere Spannungsamplitude von $\sigma = 50 \text{ N/mm}^2$ ergibt sich für einen SCF von 3,0 die schädigungsäquivalente Ermüdungsfestigkeit zu FAT 33, wenn der Nachweis auf Basis von schädigungsäquivalenten Nennspannungen geführt wird. Dieser Ansatz wird nur während der Geometrieentwicklung verfolgt. Im Anschluss wird der genaue Nachweis mit Auswertung der SCF jedes relevanten Knotendetails nach dem Strukturspannungskonzept geführt. Als Teilsicherheitsbeiwert γ scheint der Ansatz von 1,15 sinnvoll, da Inspektionen möglich sind. Weitere Abminderungen erfordern aus Sicht der Autoren einen probabilistischen Abwägungsprozess zwischen Versagensrisiko und wirtschaftlichem Optimierungspotential.

Wellentheorien und Strömungsgeschwindigkeiten

Die Auswahl der Wellentheorie erfolgt auf Grundlage der umfangreichen Hinweise in der Literatur. In Betracht gezogen werden die lineare Wellentheorie, Ansätze nach Stokes höherer Ordnung und Stream Function nach Dean (Dean 1974), Sobey (Sobey 1987) bzw. Fenton (Fenton 1990).

Auswahl der Wellentheorie

Die Auswahl der zutreffenden Wellentheorie erfolgt auf Grundlage der Empfehlungen von Det Norske Veritas (Det Norske Veritas 2010), die sich gleichermaßen in der GL-Richtlinie wiederfinden (Germanischer Lloyd 2005). Im Rahmen der Ermüdungsberechnungen wird die lineare Wellentheorie angewendet. Insbesondere um die Streuung der Wellenrichtung, das sogenannte Wavespreading, im Rahmen einer Seeganganalyse im Designprozess berücksichtigen zu können. Bei größeren Wellensteilheiten, die die Anwendung nichtlinearer Wellentheorien erfordern, werden die maximalen Partikelgeschwindigkeiten des regulären linearen Seegangs mit einem zuvor ermittelten Überhöhungsfaktor vergrößert, welcher aus Vergleichsrechnungen mit der zutreffenden nicht-linearen Wellentheorie ermittelt wurde. Dieser Ansatz lässt anhand der in Abb. 13 beispielhaft eingetragenen Wellenparameter begründen, da bereits die Ermüdungswelle (grün markiert) weit außerhalb des empfohlenen Parameterbereichs der linearen Wellentheorie liegt. Darüber liegende Wellen mit größeren Steilheiten sollten nach höherwertigen Theorien berechnet werden.

Erwartete Strömungsgeschwindigkeiten

Zur Abschätzung der Wellenlasten werden die für die vorliegende Wassertiefe und Seegangsbedingungen erwarteten Strömungsgeschwindigkeiten berechnet. Dies wird im Vorlauf zum Predesign durchgeführt, um einen Vergleich zu den Verhältnissen in vorhandenen Käfigstrukturen für Offshore-Aquakulturen ziehen zu können. Das Beanspruchungsniveau der im Projekt OOMU neu zu entwickelnden Käfige kann so mit der Morison-Gleichung (vgl. Abschnitt 0) berechnet und auf Grundlage der Angaben zu den Seegangs- und Strömungsverhältnissen in (Ryan 2004), (Scott und Muir 2002), (Vásquez Olivares 2003), (Pérez, O.M, et al. 2003), (Cremer 2008), (Loverich 2010) mit dem Lastniveau von umgesetzten Projekten an weniger exponierten Standorte verglichen werden.

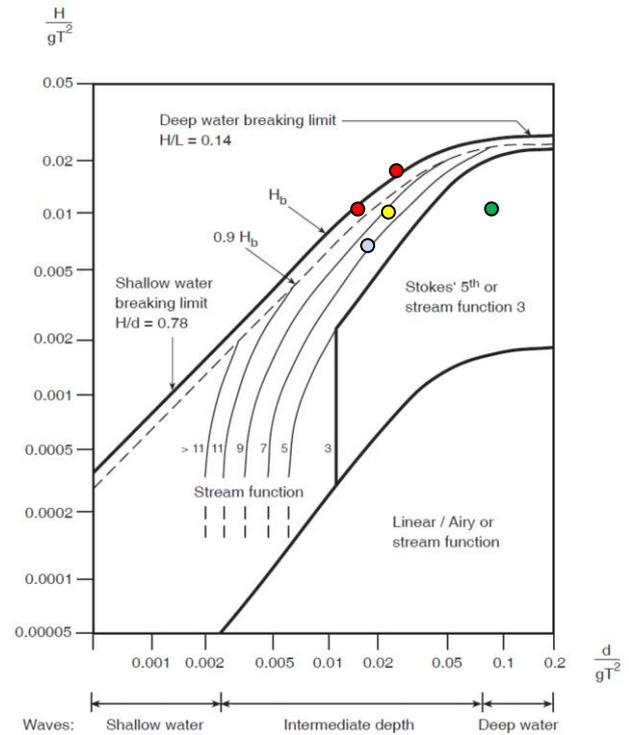


Abb. 18: Näherungsweise Grenzen zur Auswahl der zutreffenden Wellentheorie aus (Germanischer Lloyd 2005), Parameter der Extremwelle rot, Versuchswelle gelb, Vergleichswelle grau, Ermüdungswelle grün

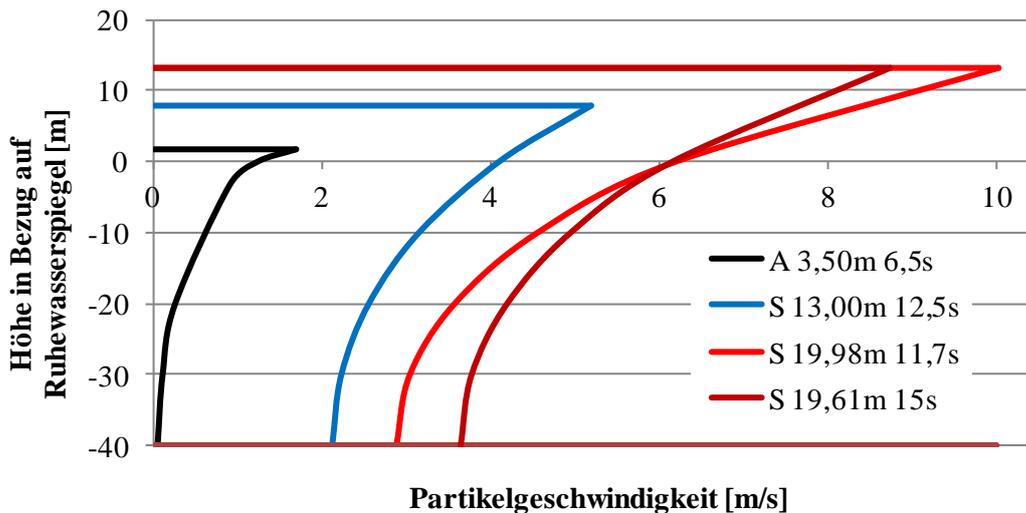


Abb 19: Geschwindigkeitsprofile der maximalen Wasserpartikelgeschwindigkeiten für die Ermüdungswelle $H = 3,50\text{m}/T = 6,5\text{s}$ (schwarz), die Extremwelle $H_{\text{max}} = 19,98\text{m}/T = 11,7\text{s}$ (hellrot) und die Extremwelle $T_{\text{max}} = 19,61\text{m}/T = 15,0\text{s}$

Exemplarisch werden in Abb. 19 die Profile der maximalen horizontalen Geschwindigkeiten der Wasserpartikel dargestellt. Die Ermüdungswelle mit einer Wellenhöhe von 3,50 m und einer Periode von 6,5 Sekunden wurde mit der linearen Wellentheorie nach Airy berechnet und das Geschwindigkeitsprofil ist in schwarz dargestellt. Signifikante Unterschiede zu Wellentheorien höherer Ordnung gibt es nur in der Nähe des Wasserspiegels, daher wirkt sich die Anwendung nicht auf die Käfiglasten aus, die sich aus dem Profilverlauf unterhalb von -15 m ergeben. Aus der Literatur konnte keine brauchbare Ermüdungswelle abgeleitet werden, da in der Regel nur Aussagen zu Extremwellen gemacht werden. Das hellrote Profil in Abb ist der Extremwelle H_{max} mit 19,98 m Höhe und der kurzen Wellenperiode von 11,7 Sekunden zuzuordnen. Das dunkelrote Profil ergibt sich aus der Extremwelle T_{max} mit 19,61 m Höhe und der maximale Wellenperiode von 15,0 Sekunden. Beide Profile wurden mit der Streamfunction Theorie mit einem Ansatz nach 11. Ordnung berechnet. Bemerkenswert ist, dass im Gegensatz zur Tragstruktur der OWEA die Extremwelle mit 15,0 Sekunden Wellenperiode und nicht maximaler Höhe von 19,61 m für die Käfigauslegung maßgebend. Aufgrund der größeren Wellenlänge übersteigt die Partikelgeschwindigkeit der Extremwelle B im geplanten Käfigbereich von etwa -35 m bis rund -15 m unterhalb der Ruhewasserlinie deutlich die Werte der Extremwelle A. Für das Design der Käfige ist vorwiegend die der Horizontallasten, nicht der Hebelarm der Lasten wie bei der OWEA-Tragstruktur interessant.

Zum Vergleich mit den veröffentlichten Strömungsverhältnissen in Käfigstrukturen von realisierten Aquakulturprojekten ist in Abb. 19 eine Vergleichswelle mit 13 m signifikanter Wellenhöhe und einer Periode von 12,5 Sekunden eingetragen, die aus Angaben von (Pérez, O.M, et al. 2003) entnommen wurde. Die maximale horizontale Partikelgeschwindigkeit dieser maximalen Extremwelle der Literatur liegt auf -20 m mit rund 3,1 m/s deutlich unter den 4,9 m/s am Standort Veja Mate. Vergleichbare Angaben zu Strömungen liegen nicht vor. Extremere Bedingungen zu Wellenhöhen wurden nur in (Ágústsson 2004) gefunden. Ein Vergleich dieser Untersuchungen bei Island mit den Verhältnissen am Standort Veja Mate ist aufgrund der erheblich größeren Wassertiefen und Abtauchtiefen der Käfige nicht möglich.

Auch Standorte mit Literaturangaben zu extremem Strömungsgeschwindigkeiten haben nach eingehender Recherche 3 -3,5 m/s nicht überschritten. Somit liegen die maximalen horizontalen Partikelgeschwindigkeiten unter Extremlasten im Projekt OOMU mehr als 50 % höher. Die zu erwartenden Lasten stehen im nichtlinearen Zusammenhang zur Strömungsgeschwindigkeit und werden daher im Vergleich noch größer ausfallen.

Hydrodynamische Analyse

Angaben zur detaillierten Modellierung und Berechnung für kompakte Käfigstrukturen mit und ohne Ansatz von moderatem marinem Bewuchs sind der Literatur im Detail nicht zu entnehmen. Untersuchungen liegen vor für Netze, die unter verschiedenen Strömungsgeschwindigkeiten getestet wurden, um Lastparameter ermitteln zu können. Häufig gehen diese Untersuchungen von konstanten Strömungsbedingungen, nicht von zeitlich veränderlichen Wellenbedingungen aus. Aus diesem Grund wird für die Geometrieentwicklung und Predesignphase zunächst mit Hilfe von Ingenieurmodellen das auf die Käfige wirkende Lastregime abgebildet. Hierfür müssen insbesondere im Bereich der Netzlasten die vorhandenen Modelle erweitert werden.

Morison Gleichung

Mit der Morison Gleichung können die Wellenlasten auf stabförmige, hydrodynamisch transparente Strukturen ermittelt werden. Hydrodynamisch transparente Strukturen können im Allgemeinen vorausgesetzt werden, wenn der Durchmesser D der Stäbe maximal der 0,2 fachen Wellenlänge entspricht. Die vorliegenden Seegangparameter und Standortbedingungen lassen auf Verhältnisse zwischen Wellenlängen und Durchmessern von Gründungspfählen des Tripiles bzw. den tragenden Käfigelementen schließen, die zweifellos als hydrodynamisch Transparent gelten. Fraglich ist, wie sich das Netz des Käfigs auswirkt und ob eine moderat bewachsenes Käfignetz das Strömungsfeld möglicherweise signifikant verändert. In diesem Fall wäre die Morison Gleichung nicht mit üblichen Parameterwerten anwendbar.

$$dF_x = (f_d + f_m)dz = C_d \cdot \frac{\rho}{2} D \cdot dz \cdot |\vec{u}_f| \cdot \vec{u}_f + C_m \cdot \rho \frac{\pi \cdot D^2}{4} dz \cdot \ddot{u}_f \quad \text{Gl.7}$$

mit \vec{u}_f, \ddot{u}_f Beschleunigung und –geschwindigkeit der Wasserpartikel

C_d = Druckbeiwert

$C_m = (1 + C_a)$ Trägheitsbeiwert

Für das Predesign werden potentiell mögliche Einflüsse, die die Anwendung der Diffraktionstheorie erfordern, nicht in Betracht gezogen. Hier stehen die Geometrieentwicklung und die Abschätzung von sinnvollen Stabdimensionen der Käfige im Vordergrund.

Netzlasten

Zur Betrachtung der Gesamtlasten auf den Käfig müssen die Lastanteile auf die tragenden Stabelemente und die netzinduzierten Lasten superponiert werden. Die Stablasten werden wie zuvor vorgestellt nach der Morison Gleichung ermittelt werden. Die Netzlasten werden in Anlehnung der Literatur entnommenen hydrodynamischen Kennwerte berechnet. Jedem Stab wird der geometrisch zugehörige Anteil dieser Flächenlast zugeordnet. Auf eine genaue Abbildung der Lastverläufe wird dabei verzichtet, da die lokale Stabbiegung eines Elementes zwischen den Strukturknoten im Vergleich zur globalen Biegebeanspruchung, die als Randlasten auf das Stabelement wirkt, untergeordnet ist. Voruntersuchungen haben gezeigt, dass diese Vorgehensweise zu nahezu identischen Maximalspannungen in den Stabelementen führt. Ob die Superposition von Stabelement- und Netzlasten gültig ist, kann durch Vergleich der Simulationsergebnisse mit den Modellversuchen geprüft werden.

In Abb. 20 ist eine Masche des Netzes exemplarisch dargestellt. Die Abmessungen a und b entsprechen der Maschenweite in der jeweiligen Schussrichtung des Netzes, d_F dem Durchmesser des Netzfadens. Gemäß Design Basis wird von Maschenabmessungen $a = b = 40$ mm und einem Fadendurchmesser von 4 mm ausgegangen. Bei rautenförmigem Netz sind die Winkelbeziehungen entsprechend zu berücksichtigen. Zur Ermittlung des hydraulischen Widerstands des Netzes ist der bezogene Netzdichte S zu ermitteln, die sich aus dem Quotienten von Fadenfläche A_{net} und Bezugsfläche $A_{rel,net}$ des betrachteten Netzbereichs ergibt.

$$S = \frac{A_{net}}{A_{rel,net}} = \frac{d_F (a - d_F / 2) + d_F (b - d_F / 2)}{a \cdot b} = 0.19 \quad \text{Gl.8}$$

Geht man von einer Anströmung senkrecht zur betrachteten Netzfläche aus kann nach (Lader und Enerhaug 2005) der Druckbeiwert des Netzes $C_{D,net}$ für Netzdichten $0,13 \leq S \leq 0,32$ ermittelt werden:

$$C_{D,net} = 0.04 + (-0.04 + 0.33S + 6.54S^2 - 4.88S^3) \cdot \cos \alpha = 0.265 \quad \text{Gl.9}$$

Alternativ ergibt sich nach z.B. nach (Le Bris und Marichal 1998) ein Druckbeiwert für das Netz von rund 0,25. Hervorzuheben ist, dass sich die in der Literatur verfügbaren Netzlastansätze auf Netzdichten von rund 0,32 beschränken. Moderat oberhalb dieses Grenzbereichs liegen die Netzdichten sofern mariner Bewuchs berücksichtigt wird und müssen durch die Modellversuche grundsätzlich geprüft werden. Aus dieser Lastresultierenden eines Stabfeldes bestimmt sich ein gleichmäßig verteilter Netzlastanteil für den in Abb. 21 dargestellten Stab mit dem Durchmesser D_A zu

$$f_{D,net} = C_{D,net} \frac{\rho \cdot A}{4} \cdot |\vec{u}_f| \cdot \vec{u}_f, \quad \text{Gl.10}$$

wobei die in Abb. blau dargestellte Bezugsfläche des Stabes $A_{rel,stab} = A \cdot B / 2$ gleichmäßig auf die Stablänge B verteilt wurde. Für andere Käfigelementgeometrien ist die dem Stab zugeordnete Fläche $A_{rel,stab}$ analog zu bestimmen und Gl. 2.10 entsprechend anzupassen.

Um die Gesamtlast auf den Stab eines Käfigs zu berechnen, bietet es sich an die Netzlastanteile als ideellen Zuschlag auf den Druckbeiwert des Stabes $C_{D,stab}$ umzuechnen und den Beiwert für Stab und Netz aufzusummieren.

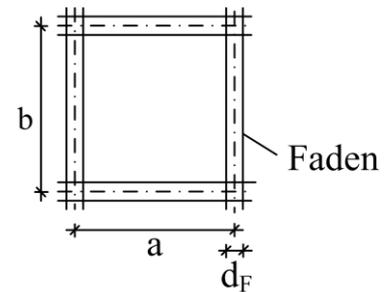


Abb. 20: Abmessungen einer Netzmasche

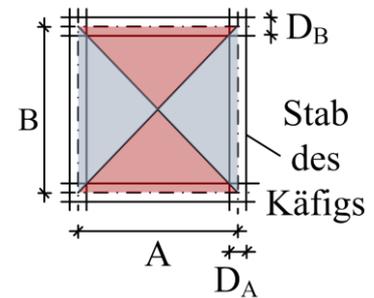


Abb. 21: Zugeordnete Netzlastanteile für Stäbe eines rechteckigen Käfigelementes

$$C_{D,netStab} = C_{D,net} \cdot \frac{A}{2 \cdot D} \quad \text{Gl.11}$$

$$C_{D,StabRes} = C_{D,Stab} + C_{D,netStab} \quad \text{Gl.12}$$

Analog zur dargestellten Vorgehensweise wird der Anteil der Auftriebskraft C_L nach (Lader und Enerhaug 2005) für Anströmwinkel $> 0^\circ$ berechnet bzw. der Druckterm angepasst. Da der Literatur keine weiteren Angaben für Trägheitsterme von straff gespannten Netzen zu entnehmen sind, werden übliche Parameter für Zylinderquerschnitte angenommen und über die Fadenanzahl im betrachteten Netzelement aufsummiert.

Der zusätzlichen Stablaster infolge der Netzlasten erhöhen die Käfiglasten bezogen auf die reinen Käfiglasten nach eigenen Parameterbetrachtungen um rund 50-100 %. Schwankungen im Bereich der hydrodynamischen Beiwerte, z.B. durch Streuungen der Reynoldszahl Re und der Keulegan-Carpenter-Zahl, und im Bereich der numerisch ermittelten Strömungsverhältnisse können daher durchaus Abweichungen um $\pm 25\%$ verursachen.

Submodell für horizontalen Membranzug nach Theorie 3. Ordnung

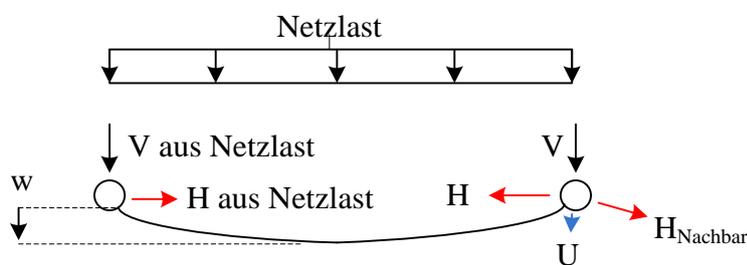


Abb.22: Zusatzkräfte U infolge des räumlichen Seiltragverhaltens
Resultierende Käfiglast V für Stab aus Druckfeld auf Netz
Horizontalzug des Netzes Stab als am Lagerrand

Die bisher dargestellten Lasten berücksichtigen nicht das Tragverhalten des Netzes, dass nur Normalkräfte in den Fäden aufnehmen kann. Eine Netzlast erzeugt an den Lagerrändern, also in den Stäben des Käfigs, folglich nicht nur eine parallel zu den Wellenlasten wirkende Lagerlast, sondern auch eine Horizontallast infolge des räumlichen Seiltragverhaltens. An geknickten Flächen des Käfigs entstehen durch die Nachbarfelder zusätzliche Umlenkkräfte U als innere Kräftegruppe zwischen Netz und Stabkäfig. Diese sind bei der Schnittgrößenermittlung zu berücksichtigen. Die Netzdurchhänge w in einem Stabfeld unter Gleichlast wurden in verschiedenen Laststufen näherungsweise abgeschätzt, indem ein Seilrost in Analogie zu einem Trägerrost nach Theorie 3. Ordnung modelliert und berechnet wurde. Im Rahmen der hydrodynamischen Berechnungen des Käfigs kann die Laststufe in jedem Zeitschritt durch die Auswertung der Partikelkinematik bestimmt werden, sodass den Netzlasten die Randzuglasten aus dem Netz eines Stabfeldes überlagert werden können. Die erforderlichen hydrodynamischen Parameter der Stabelemente nun berechenbar und die zusätzlichen seilartigen Lasteffekte können dem vorhandenen Wellenlastmodell für die Stäbe überlagert werden.

Horizontalen Wellenlastprofile und zeitlicher Belastungsverlauf

Aus den in Abb. 19 ermittelten Strömungsprofilen lassen sich mit Gleichung 2.7 Wellenlasten ermitteln. Die Gegenüberstellung der Wellenlastprofile soll als Entscheidungsgrundlage zur Festlegung vertikale Ausdehnung der Käfige dienen und einen Lastvergleich zu vorhandenen Käfigen unter extremen Lasten ermöglichen. Das zu erwartende Beanspruchungsniveau der Käfige im OOMU-Projekt kann daraus abgeleitet werden und liefert eine Grundlage für die Vorgabe erster Querschnittsabmessungen für die Pre-design-Phase.

Als Referenzstruktur wurde ein Gründungspfehl des Tripiles als eingespannter Stab abgebildet und das maximale horizontale Wellenlastprofil für die Zeitpunkte „Maximallast am Wellenberg“ (Max

F_{Surface}) und „Maximallast in 20 m Wassertiefe“ ($\text{Max } F_{-20 \text{ m}}$) aus der Wellenlastzeitreihe ausgelesen. Die Profile der maximalen horizontalen Wellenlasten sind in Abb. 23 dargestellt.

Das Beanspruchungsniveau der Käfige unter der Ermüdungswelle ist gering, da die Wellenlastenordinate erst deutlich oberhalb von 20 m Wassertiefe nichtlinear bis zum Spitzenwert an der Wasseroberfläche zu nehmen. Qualitativ gilt dies auch für die Wellenlastprofile der Designwellen, weil auch hier in 20 m Wassertiefe die Wellenlast bereits auf rund 1/3 der maximalen Wellenlast an der Wasseroberfläche abgenommen hat. Die Käfige sollten mindestens 17,5 m unter den Ruhewasserspiegel (MSL) abgesenkt werden. Ein Abgleich mit dem Profil der Vergleichswelle verdeutlicht das Beanspruchungsniveau der OOMU-Käfige.

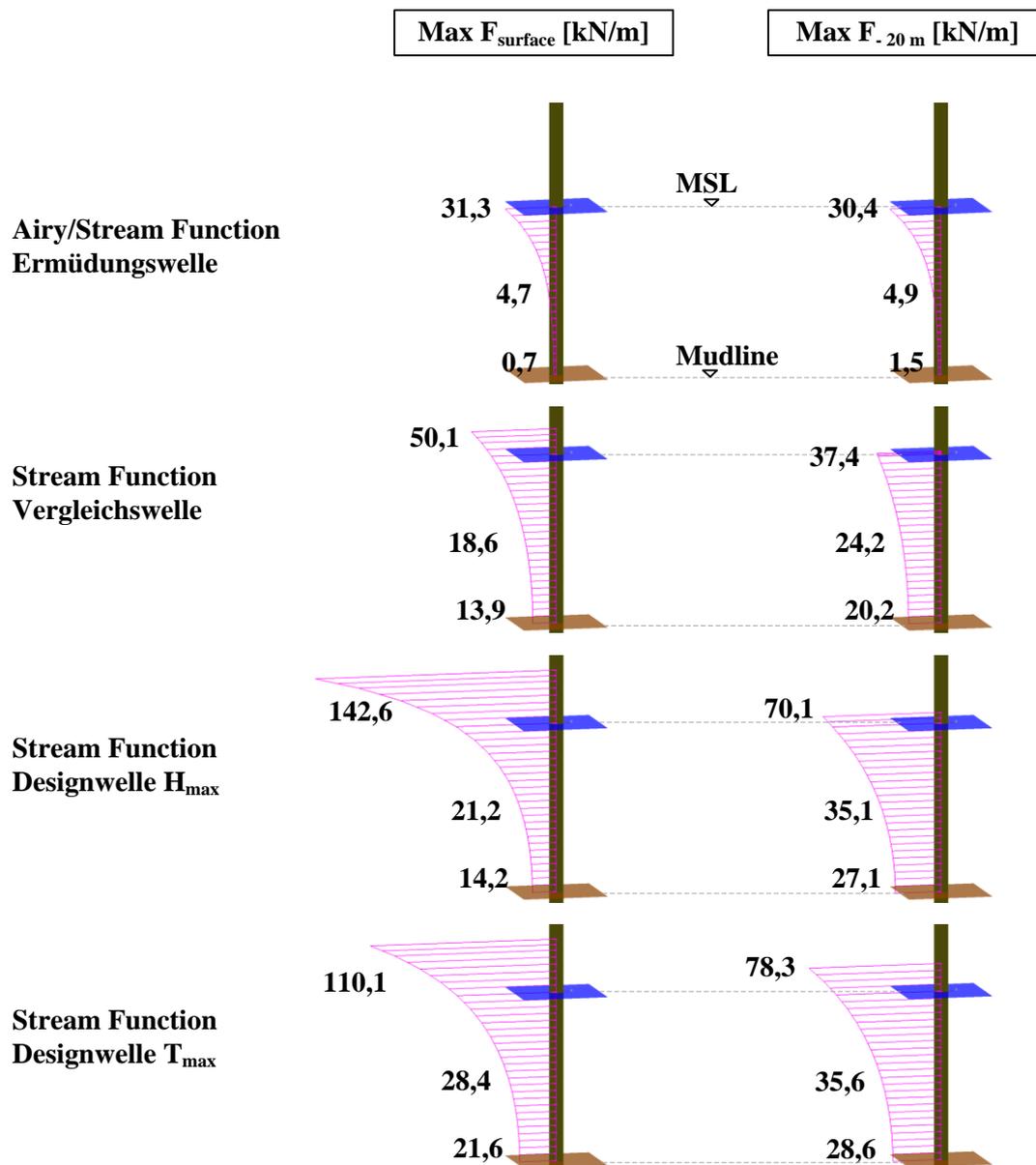


Abb. 23: Horizontale Wellenlastprofile der Ermüdungswelle ($H = 3,5 \text{ m}$, $T = 6,5 \text{ s}$), der Vergleichswelle ($H = 13 \text{ m}$, $T = 12,5 \text{ s}$) und der Designwelle 1 ($H_{\text{max}} = 19,98 \text{ m}$, $T = 11,7 \text{ s}$) sowie der Designwelle 2 ($H = 19,61 \text{ m}$, $T = 15,0 \text{ s}$)

Im Vergleich zu vorhandenen Strukturen an exponierten Standorten muss ein Design für um rund 70 bis 100 % größere Lasten entwickelt werden (vgl. hierzu auch Tabelle 18). Interessant ist weiterhin, dass die maximalen Lastordinaten im Käfigbereich zwischen Meeresspiegel (Mudline) und 17,5 m

Wassertiefe um 1-2 Sekunden versetzt zur Maximallast der Tripilestruktur auftritt. Die Lastverläufe in den Gründungspfählen auf Mudlinehöhe werden daher genauer betrachtet.

Tabelle 18: Lasten normiert auf Maximalwert unter Designwelle in 20 m Wassertiefe (rot markiert), Maximallastprofile am Wellenberg grün hinterlegt, in 20 m Wassertiefe blau hinterlegt

Welle	Ermüdung OOMU		Design Vergleich		Design OOMU		Einheit
					H _{max}	T _{max}	
Theorie	Airy	Stream11	Airy	Stream11	Stream11	Stream11	
H _w	3,50	3,50	13,00	13,00	19,98	19,61	m
T _w	6,5	6,5	12,5	12,5	11,7	15,0	s
h _{Top}	1,75	1,89	6,5	7,81	13,27	13,3	m
elev-coeff d	0,500	0,540	0,500	0,601	0,664	0,678	[-]
h _{Top}	1,75	1,89	6,5	7,81	13,27	13,3	m
max F_{w,Top}	88%	85%	105%	141%	401%	309%	[-]
zug F_{w,-20m}	13%	14%	68%	52%	60%	80%	[-]
zug F_{w,-40m}	2%	4%	57%	39%	40%	61%	[-]
zug F_{w,Top}	88%	85%	105%	105%	197%	220%	[-]
max F_{w,-20m}	13%	14%	68%	66%	99%	100%	[-]
zug F_{w,-40m}	2%	4%	57%	54%	76%	80%	[-]

Hierzu werden die Zeitreihen der im Referenzpfahl wirkenden Biegemomente und der Horizontalkräfte in Mudlinehöhe auf die jeweiligen Maximalwerte unter der Designwelle T_{max} normiert und in Abb. grafisch über die Wellenperiode aufgetragen. In blau sind die normierten Beanspruchungsverläufe unter der Designwelle T_{max}, in rot die Verläufe unter der Designwelle H_{max} dargestellt. Es wird klar, dass die für den Käfig maßgebende Designwelle T_{max} nicht für die OWEA-Tragstruktur maßgebend ist. Ursache dafür ist das Verhältnis zwischen Hebelarm der Wellenlast über dem Meeresgrund und der Horizontallast. Für die Tragstruktur der OWEA dominiert der Einfluss des Hebelarms, für den Fischkäfig die Horizontallast. Die statische Ausnutzung des Referenzpfahls unter der Designwelle mit H_{max} ist knapp 6 % höher als unter Designwelle T_{max}, welche für den Käfig maßgebend ist. Besonders bemerkenswert ist der Zeitversatz zwischen der maximalen horizontalen Biegebeanspruchung im Referenzpfahl und der jeweils um ΔT_H bzw. ΔT_T vorseilend auftretenden maximalen Horizontallasten auf den abgesenkten Käfig. Diese Zeitunterschiede wurden in Abb. 24 diskret eingetragen, um den Ausnutzungsgrad im Referenzpfahl zum Zeitpunkt des maximalen Biegemomentes im Pfahl und der maximalen Horizontallast auf den Käfig vergleichen zu können. Tendenziell folgt dieser zeitliche Vorlauf dem gestrichelt dargestellten Verlauf der normierten Horizontallast im Pfahl, welche ebenfalls vor der maximalen Biegebelastung auftritt. Zu den Zeitpunkten der maximalen Käfiglasten beträgt das Beanspruchungsniveau des Referenzpfahls nur ca. 60 bzw. 75 % der Maximalbeanspruchung (orange eingetragen). Der maßgebende Bemessungszeitpunkt für die OWEA-Tragstruktur mit den zusätzlichen Käfiglasten liegt zwischen jeweils im eingetragenen Zeitbereich ΔT_H bzw. ΔT_T. Wird exemplarisch angenommen, dass der maßgebende Bemessungszeitpunkt genau in der Mitte dieser Zeitbereiche liegt, ergeben sich für den resultierenden Bemessungszeitpunkt theoretische Bemessungsreserven im zweistelligen Prozentbereich. Zum Zeitpunkt der maximalen Ausnutzung des Referenzstabes liegt eine reduzierte Käfiglast in der Größenordnung von etwa 70 % der maximalen Käfiglast vor, wie den grün hervorgehobenen normierten Werten aus Tabelle 18 Tabelle zu entnehmen ist. Im weiteren Verlauf dieses Projektes werden die Ermüdungs- und Maximallasten auf den Käfig numerisch ermittelt und anhand der Versuche validiert. Der hier aufgezeigte Reduktionsfaktor für die

Überlagerung der Bemessungslast des Käfigs und der Bemessungslast im Tripile stellt eine Näherung dar, wird dennoch bei Abgleich der Zeitreihen von Wasserspiegelauslenkung und Käfigkräften auf S. 78 des Versuchsberichtes (Goseberg, Franz und Schlurmann 2012) bestätigt. Integrierte Modelle der OWEA mit Fischkäfig sind für eine optimierte Auslegung von OWEA-Tragstruktur und Fischkäfig zu empfehlen. Untersuchungen dieser Art sind nur Durchführbar, wenn dem Planer sämtliche Modellinformationen für eine gekoppelte Simulation inklusive dem Anlagencontroller zur Verfügung stehen. Für die hier durchgeführte Machbarkeitsstudie ist dieses Maß an Modelltiefe nicht zielführend, wenngleich weiteres Potential zur Kostenreduktion durch die Anwendung multiphysikalischer gekoppelter Berechnungsmodelle von OWEA-Tragstruktur mit Käfig aktiviert werden kann. Vor dem Hintergrund der Modellunsicherheiten des kombinierten Lastmodells für Käfig und die OWEA-Tragstruktur mit Variationen im zweistelligen Prozentbereich weist das eingesetzte Modell eine ingenieurmäßig sinnvolle Modelltiefe mit akzeptabler Berechnungsgenauigkeit auf.

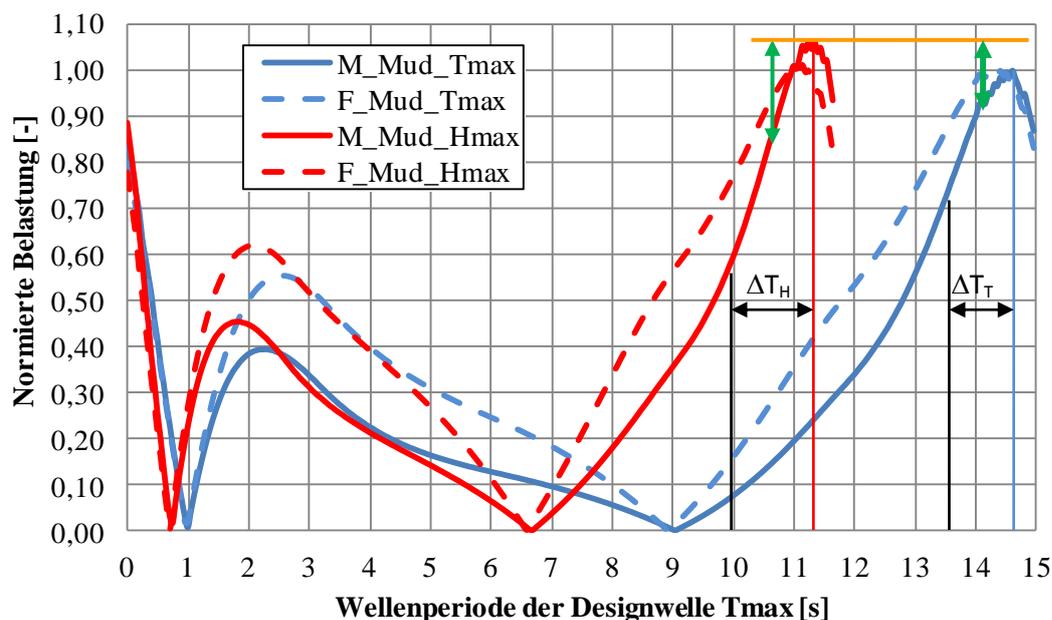


Abb. 24: Normierte Belastung des Referenzpfahls in Mudlinehöhe (Biegemoment M_{Mud_Norm} und Horizontallast F_{Mud_Norm})

7.3.4 Geometrieentwicklung und Predesign für Modellversuche

Geometrieentwicklung

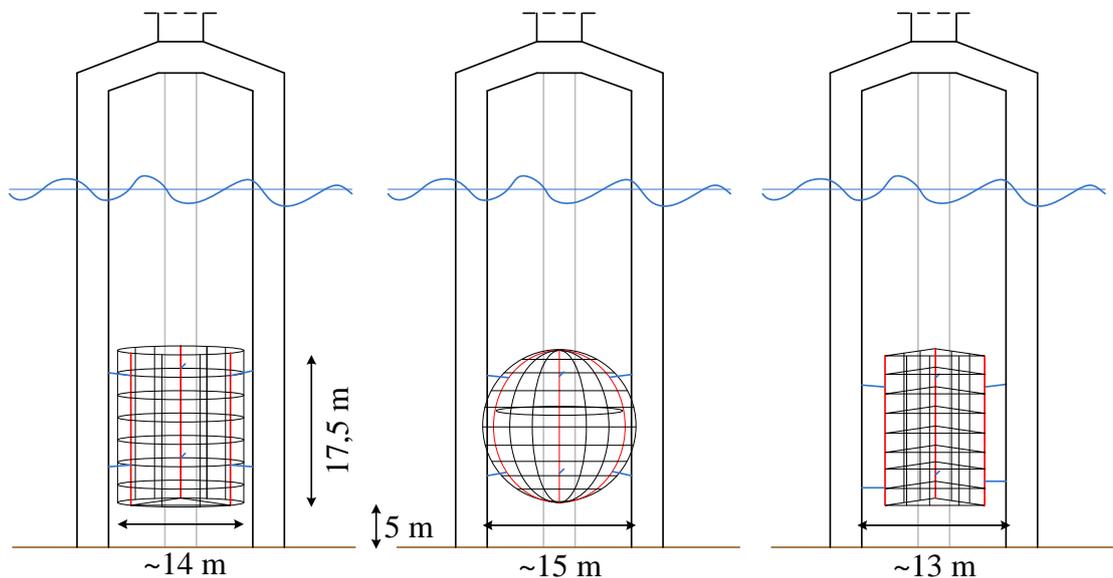
Zylinder

Geometrisch lässt sich ein Zylinder optimal in den Tripile einpassen. Es gibt definierte vertikale Lagerachsen entlang der Gründungspfähle, die als Zwangspunkte der Struktur aufgenommen werden müssen. Die Anzahl der Verbindungspunkte zwischen Käfig und den Gründungspfählen des Tripiles ist flexibel wählbar. Als Abstand der Käfigoberkante zur Wasseroberfläche wird gemäß den Hinweisen in Abschnitt 0 ein Maß von 17,5 m definiert. Die Partikelgeschwindigkeiten bzw. Wellenlasten sind, mit Blick auf die Planungsvorgabe ein Maximum an Volumen zu erreichen, in dieser Höhenlage noch vergleichsweise moderat. Um eine zusätzliche Kolkentwicklung im Bereich der Tripile-Gründungspfähle durch erhöhte Strömungsgeschwindigkeiten unterhalb des Käfigbodens zu vermeiden, wird ein Käfigabstand von 5 m bis zum Meeresgrund angenommen. Dieses Maß wurde in Abstimmung mit dem Franzius-Institut festgelegt, insbesondere weil im Rahmen der Modellversuche auch die Kolkentwicklung betrachtet wird. Diese Annahme wird durch die Versuchsergebnisse im Bericht des Franzius-Instituts als sinnvoll bestätigt (Goseberg, Franz und Schlurmann 2012). Aus den geometrischen Zusammenhängen in Abschnitt 0 ergibt sich ein möglicher Durchmesser von rund 14 m und damit ein Volumen von ca. 2650 m³. Dieses Volumen stellt eine Obergrenze für die integrierten Käfigvarianten dar, da eine geometrisch möglichst einfach herstellbare Struktur aus wirtschaftlicher Sicht Ziel der Geometrieüberlegungen sein muss.

Kugel

Im Vergleich zum Zylinder hat die Kugel keine besonders eindeutige Zuordnung von bestimmten Stäben des Käfigs zu den drei Gründungspfählen, weil der Abstand zwischen Kugeloberfläche und Pfahl über die Kugelhöhe sehr variiert. Es werden mindestens sechs Befestigungspunkte für die Kugel vorausgesetzt, welche mindestens Axialkräfte aufnehmen können sollen, um nicht planmäßig eine kinematische Lagerung zu erzeugen. Aus geometrischer hat die Anordnung der Lagerpunkte im Bereich im oberen und unteren Kugeldrittel Vorteile, weil die Abmessungen der Lagerstäbe nicht den maximalen Kugeldurchmesser nach Gleichung (2.3) bis (2.6) reduzieren. Der mögliche Käfigdurchmesser als Kugel fällt somit etwas größer aus als der Zylinderdurchmesser. In Abb. 25 werden die Grundrissflächen der verschiedenen Käfigvarianten verglichen. Im Grundriss der Kugel wurde der Zylinderdurchmesser grau gestrichelt eingetragen, im Grundriss des dreieckigen Prismas der Durchmesser der Kugel. Der Durchmesser fließt kubisch in das Volumen der Kugel ein und kann maximal 1700 m^3 betragen. Im Vergleich zum Zylinder ist dies ein deutlich geringeres Volumen und hinsichtlich des großen Volumens als eines der entscheidenden Entwurfskriterien ein negativer Aspekt der Kugelgeometrie. Ein abschließender Vergleich kann jedoch erst nach Vergleich der Stahlmassen als Indikator für die Kosten und der fertigungstechnischen Aspekte gezogen werden.

Ansicht



Grundriss

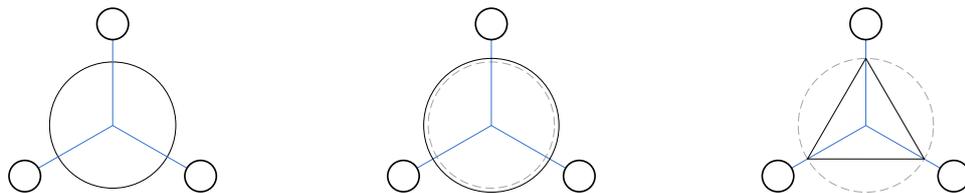


Abb. 25: Käfiggeometrien: Zylinder (links), Kugel (mittel), dreieckiges Prisma (rechts)

Alternative Geometrien für integrierte Käfige

Als dritte Variante wird ein dreieckiges Prisma mit einer Höhe von 17,5 m und einer Kantenlänge im Grundriss von etwa 13 m vorgeschlagen. Das Volumen liegt mit maximal 1250 m^3 wesentlich unter dem Volumen der zuvor vorgestellten Käfigeometrien. Dies ist charakteristisch für alle Alternativen die entweder im Grundriss oder der Ansicht eine kleineres Volumen als der Zylinder oder die Kugel einhüllen. Vorteil der dreieckigen Konstruktion ist die abnehmende globale Biegebeanspruchung der horizontalen Stabelemente durch die Lagerkräfte. Nachdem die drei Eckstäbe diese Kräfte über die Käfighöhe verteilt haben, tragen alle weiteren Stabelemente vorwiegend über Fachwerkwirkung und lassen schlanke Stabproportionen erwarten. Die Beanspruchungssingularitäten an den Eckpunkten am Käfigkopf und Käfigfuß fallen hingegen deutlich stärker als beim Zylinder aus. Die spitzen Eckwin-

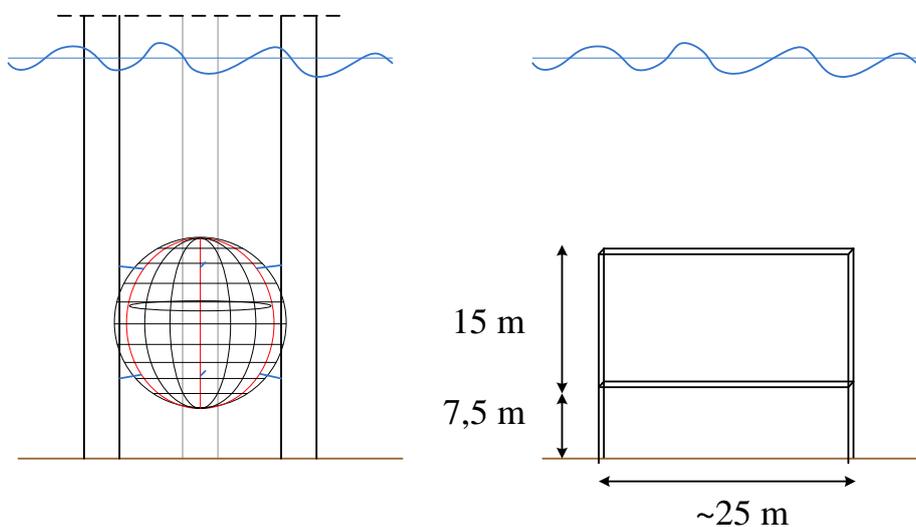
kel stellen auch für die Fische eine ungünstige Form dar, weil viele Fische im Eckbereich unter einer größeren Wellenlast in eine Art Trichter gedrückt werden. Für einen einfach herstellbaren Prototypen zur Kraftmessung im Originalmaßstab direkt in einer OWEA wäre das Prisma durchaus geeignet, ein Serieneinsatz scheint dagegen unrealistisch.

Großkäfig

Für den Großkäfig gibt es außer der begrenzten Höhe keine besonderen geometrischen Randbedingungen aus denen die Form abgeleitet werden kann. Die Höhe wird in Anlehnung an die integrierten Käfige mit maximal 22,5 m über Meeresgrund angenommen. Der Abstand zum Meeresgrund wird um 2,5 m auf ca. 7,5 m vergrößert, um einen flächigen Kolk unter dem großen Käfig zu vermeiden. Ein großes Volumen kann leicht durch eine ausreichend große Grundrissfläche erzeugt werden. Entscheidendes Entwurfskriterium muss daher die einfache Herstellung und ein optimaler Transport sein. Aus diesem Grund wird sich an den maximalen Abmessungen der Installationschiffe für OWEA orientiert, weil so eine Serieninstallation ohne den Einsatz besonders schwerer Schwimmkrane realisierbar ist. Im Grundriss fügen sich OWEA-Tragstrukturen in der Regel in Quadrate kleiner als 25x25 m ein.

Um mit möglichst wenigen Stabelementen einen Großkäfig zu bauen, bietet sich ein quadratischer Grundriss an. Dieser Käfig verfügt mit 25x25 m im Grundriss und einer Höhe von 5 m über ein Volumen von maximal 9.375 m³. Der Durchmesser eines volumengleichen Zylinderkäfigs müsste dafür 28,2 m betragen. Das Volumen von knapp 10.000 m³ fügt sich gut in die Bandbreite von 5.000 bis 20.000 m³ von vorhandenen Großkäfigen ein. Denkbar ist ebenfalls eine runde Käfigform. Eine aufwendige segmentweise Fertigung der runden Käfigebenen bzw. das Biegen von Stäben mit Durchmessern in der Größenordnung von 1 m ist aus Herstellungssicht aufwendig.

Ansicht



Grundriss



Abb.26: Vergleich des autarken Großkäfigs mit dem integrierten Kugelkäfig

Predesign der integrierten Käfigvarianten

Zylinder

Der Zylinder wurde ohne und mit Ansatz der Zwischenebenen vorbemessen. Primär wurde zunächst der Käfig ohne Ebenen für ein Maximum an Nutzungsfreiheit entworfen, weil der hydraulische Widerstand infolge der größeren Querschnittsdimensionen einer vorwiegend auf Biegung abtragenden Konstruktion als größer erwartet wurde. Diese Annahme wurde nach Einzug der mittragenden Ebenen und Bemessung dieser Konstruktionsalternative bestätigt, allerdings liegt der hydraulische Widerstand des Käfigs mit Ebenen nur moderat unter dem Käfig ohne Ebenen. Der signifikante Lastbeitrag des Netzes reduziert den Einfluss der Stababmessungen auf die Gesamtwellenlast des Käfigs. Der Käfig ohne Ebenen ist Grundlage für den Modellversuch, indem die Struktur mit dem größten Verbaugrad untersucht werden soll. Mögliche Veränderungen der Strömungsverhältnisse innerhalb der kompakten Gesamtstruktur, bestehend aus Tripile und integriertem Käfig, werden durch dieses Vorgehen bereits im ersten Versuch deutlich. Um planmäßig nur geringe Vertikallasten in die Tragstruktur der OWEA einleiten zu müssen, wird eine luftgefüllte, dicht verschweißte Rohrkonstruktion vorausgesetzt. Zusätzlich muss entweder ein umlaufender Auftriebskörper unter dem obersten Stahlring des Käfigs (s. Abb 27, oben mitte) oder drei vertikale Schwimmkörper entlang der vertikalen Stabachsen nahe der Gründungspfähle angeordnet werden. Alternativ ist eine Aufhängung des Käfigs am Tripile möglich, die im Rahmen einer Prototypinstallation aus den in Abschnitt 0 genannten Gründen nicht favorisiert wird. Die Predesign-Ergebnisse wurden vorwiegend für den Modellbau für die hydraulischen Versuche im Maßstab 1:40 zur Prüfung der vorgestellten Lastannahmen aufbereitet. Weitere Hinweise zur Konstruktion finden sich in Abschnitt 0 bei den optimierten Käfigvarianten. Ein wesentlicher Punkt für die Versuchsplanung war die Lage von Kraftmessdosen zwischen Käfig und Tripile sowie das Lagerungskonzept an sich. Eine Entkopplung der Messung von horizontalen und vertikalen Kräften wurde für eine hohe Ergebnisqualität der Kraftmessungen und eine aussagekräftige Auswertung angestrebt. Im Weiteren werden die Käfigabmessungen ohne Ebenen, die Lagerung, Materialien und verwendete Verbindungstechnik vorgestellt.

Übersicht über die Abmessungen des Zylinders ohne Ebenen

Achsabmessungen (s. hierzu auch Abb. 27)

Höhe	17,50 m von Ebene 1 bis Ebene 11	
Durchmesser	14,00 m	
Länge Q	2086,6 mm	(Segmentlänge des Kreisrings)
Länge H	1750 mm	(Abstand zwischen den Ebenen)
Auftriebskörper	Exemplarischer Querschnitt unter oberstem Käfigring ca. $b/h = 90/80$ cm	

Lagerungsoptionen im Modellversuch

Vertikal

- Auftriebskörper aus Hartschaum angepasst an Eigengewicht angepasst
- (vgl. Ansicht Käfig)
- Aufhängung des Käfigkopfes an Tripile (bevorzugte Variante für den Serieneinsatz)

Horizontal

- 6 Horizontale Kraftmessdosen bzw. Lagerpunkte
- zwischen jedem Pile und den Kreuzungspunkten in Ebene 3/Stäbe 2,9,15 und in den Kreuzungspunkten Ebene 9 - Stäbe 2,9,15 der Käfigstäbe (s. Abb. 27)

Verbindungen

- Geschweißte Rohrkonstruktion
- Knotenbereiche können im Modell auch vereinfacht verbunden werden, da im Maßstab 1:40 eine realmaßstäblich äquivalente geschweißte Verbindung nicht herstellbar scheint
- erforderliche Geometrieabweichungen werden in den Vergleichsrechnungen zu den Modellversuchen ergänzend erfasst

Verwendeter Werkstoff

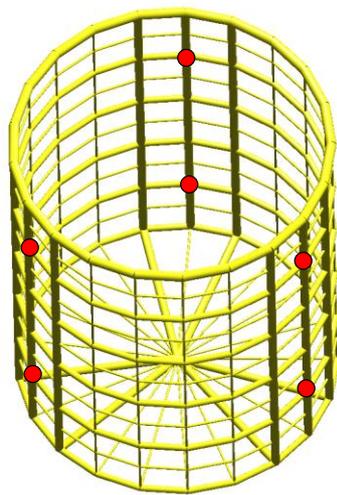
- Stahl S355 (Stahleigenschaften für Modellversuch frei wählbar, es kann ggf. auf andere Materialgüten oder Aluminium ausgewichen werden)

Verwendete Querschnitte der Stäbe (Ebenen- und Stabzuordnungen in Abb. 27)

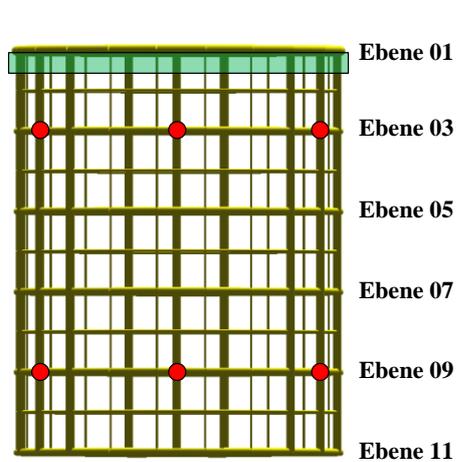
Tabelle 19: Abmessungen der Rohrquerschnitte mit Durchmesser D und Wanddicke t

Bauteilbezeichnung	D [mm]	t [mm]	Anzahl
Kreisring Käfigkopf Ebene 1	450	25	1
Kreisring Käfigboden Ebene 11	300	25	1
Aussteifungsringe Ebenen 3/5/7/9	300	25	4
Zwischenringe Ebenen 2/4/6/8/10	125	15	5
Vertikale Aussteifungsstäbe Stäbe 1, 2, 3 + 8, 9, 10 + 15, 16, 17	375	25	9
Vertikalstäbe Stäbe 4, 5, 6, 7 + 11, 12, 13, 14 + 18, 19, 20, 21	100 100	25 15	12 12
Bodenstäbe verstärkt Stäbe 1,3 + 8, 10 + 15, 17	375	25	6
Bodenstäbe Stäbe 2, 4, 5, 6, 7 + 9, 11, 12, 13, 14 + 16, 18, 19, 20, 21	100	15	15

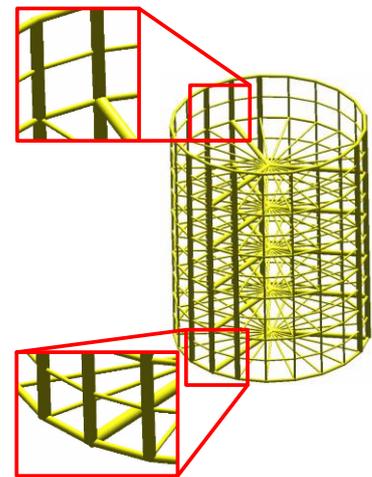
Die Blechdicken der verwendeten Querschnitt in Tabelle wurden auf maximale 25 mm beschränkt, weil neue Schweißverfahren eine Fertigung bis zu dieser Blechdicke mit reduziertem Aufwand ermöglichen.



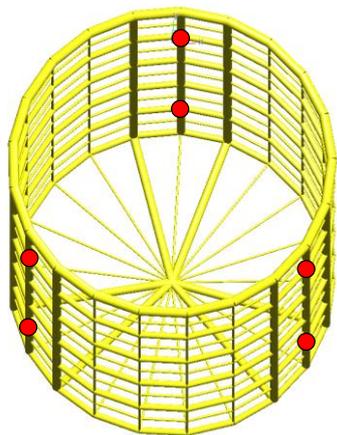
Isometrie 1 ohne Ebenen



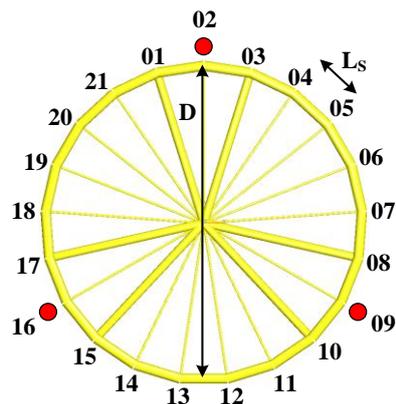
Ansicht mit Ebenen



Isometrie mit Ebenen



Isometrie 2 ohne Ebenen



Draufsicht mit Stabnummern

Abb. 27: Visualisierung des Zylinderkäfigentwurfs ohne und mit Ebenen, Lagerpunkte rot und mögliche Lage eines Auftriebskörpers grün

Das Design mit und ohne Ebene unterscheidet sich hinsichtlich der Masse weniger als erwartet. Die Umfangsbiegung des Käfigs in den Ebenen wird abgemindert, die vertikale Biegung bleibt hingegen nahezu unverändert. Aus diesem Grund liegt die Käfigmasse mit Ebenen nur rund 20 % unter der ohne Ebenen.

Kugel

Der Kugelkäfig bietet sich im Gegensatz zum Zylinder weniger für die Anordnung von Ebenen an. Einerseits ergibt bei Drittelung der Käfighöhe analog zum dreieckigen Prisma ein keilförmiger Bereich in der oberen und unteren Ebene, andererseits ist das Tragverhalten des Käfigs durch die Kuppelwirkung deutlich günstiger und ein mittragen der Ebenen bietet geringeres Optimierungspotential. Ein wesentlicher Arbeitsteil des Kugel-Predesigns war die Vernetzung der Kugeloberfläche mit Stäben. Erste Untersuchungen im Rahmen der Auftaktbesprechungen des Projektes haben auf eine meridianartige Vernetzung abgezielt. Aufgrund der spitzen Winkel am Käfigkopf- und Fuß und des schlechteren räumlichen Tragverhaltens im Vergleich zu anderen Vernetzungsarten wurde diese Stabvernetzung verworfen. Diese Stabführung deckt sich mit der Konstruktion von vorhandenen Kugelkäfigen für Aquakulturen. Für die Vernetzung der Kugel mit Stabdreiecken wurden zwei Alternativen untersucht. Ziel der Vernetzungsuntersuchungen ist eine Kugelform, welche mit möglichst wenig Stabelementen nahezu gleicher Länge und gleichen Winkelbezügen aufgebaut werden kann. Hierfür werden zunächst verschiedene vieleckige Grundgeometrien, sogenannte Polyeder, vorgestellt, die eine Kugelform annähern. Die erste Möglichkeit basiert auf der Grundform des Ikosaeders. Dieser Polyeder hat 12 Ecken (Knoten), 30 Kanten (Stäbe) und 20 Flächen die durch ein Netz geschlossen werden müssen.

Diese extrem grobe Struktur bietet nur unzureichende Möglichkeiten die Befestigungspunkte anzuschlagen und liefert hohe Knotenbeanspruchungen an diesen Kräfteinleitungspunkten. Eine Weiterentwicklung dieser Geometrie kann durch die Unterteilung der 20 Flächen in den Kantenmitten erfolgen. Es werden weitere 30 Knoten eingefügt, die auf die Kugeloberfläche projiziert werden. An diesen Stellen können je Fläche 3 weitere Stäbe zu den vorhandenen Stäben hinzugefügt werden. Dieser modifizierte und verfeinerte Ikosaeder mit 4 Dreiecksflächen je Grundfläche zeigt ein deutlich günstigeres Tragverhalten und vergleichmäßigt die Lastspitze an den Anschlagpunkten durch ein signifikantes Mittragen der benachbarten Stabknoten. Die Stablängen weichen um rund 13 % ab und die Anschlagwinkel der Stäbe an den Knoten betragen $63,4^\circ$ und $58,3^\circ$. Ein solches Kugeldesign bietet die optimale Grundlage für den Einsatz von Gussknoten. Die Kerbwirkung an den Knoten wird im Vergleich zu geschweißten Knoten erheblich minimiert. Der konzentrierte Anschlag von 5 bis 6 Käfigstäben je Knoten an einem kompakten Gussbauteil ist möglich und erübrigt komplexe Schweißfolgeplanungen und Arbeitsabläufe. Die Verschweißung der Stäbe an den Knoten kann anstelle von räumlichen Schweißnähten, die in Handarbeit gefertigt werden müssten, automatisiert durch ebene Orbitalnähte erfolgen. Die Verfeinerung des Ikosaeders ist in Abb. 29 schematisch skizziert.

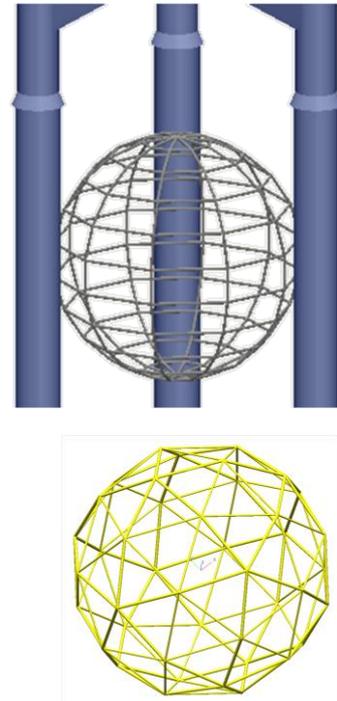


Abb. 28: Vergleich von meridianartiger Stabführung (oben) und dreieckiger Stabvernetzung der Kugeloberfläche

Tabelle 20: Vergleich der charakteristischen Eigenschaften der verschiedenen Polyeder

	Knoten	Stäbe	Flächen	max L/min L	max \varnothing /min \varnothing
Ikosaeder	12	30	20	1,00	1,00
Verf. Ikosaeder	42 (12/30)	120	80	1,130	1,087
Dodekaeder	30	20	12	1,00	1,00
Pentakisdodekaeder	60 (12/48)	90	60	1,129	1,235

Eine weitere Alternative stellt der Pentakisdodekaeder dar. Diese Polyeder ergibt sich aus dem Dodekaeder, der aus 5-Ecken aufgebaut wird und auch als Pentagon bezeichnet wird. Die charakteristischen Eigenschaften dieses Polyeders werden in Tabelle 20 mit denen des verfeinerten Ikosaeders verglichen.

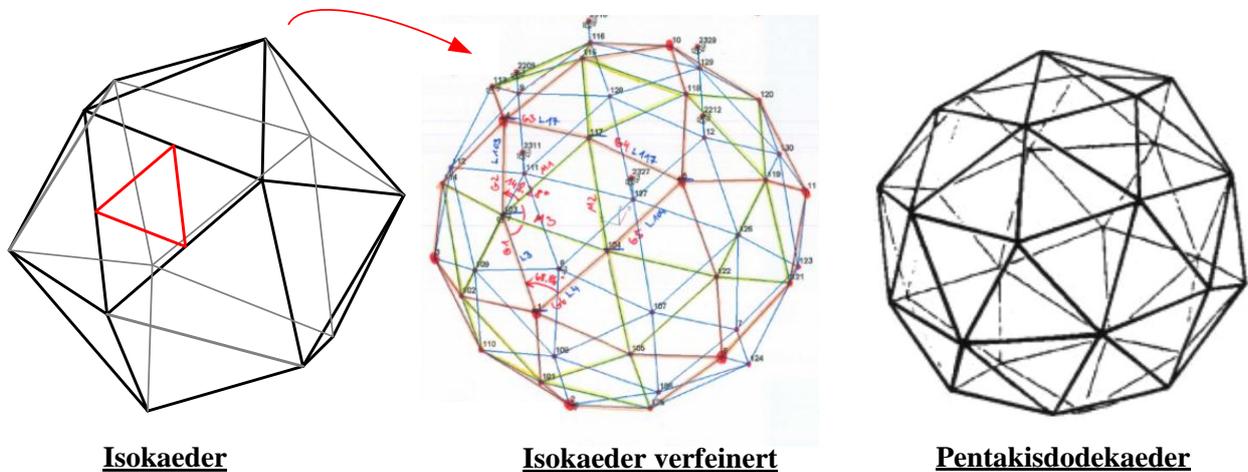


Abb. 29: Entwicklung des verfeinerten Ikosaeders (Einfügen von weiteren Stäben in den Kantenmitten zu einer homogenen Kugelstruktur) und Pentakisdodekaeder

Der Pentakisdodekaeder hat ein nahezu identisches Stablängenverhältnis, wobei die Differenzen der Anschlagwinkel deutlich größer sind. Aus Fertigungssicht spielen vor allem die Anzahl der Stäbe und Knoten eine entscheidende Rolle. Beim verfeinerten Ikosaeder sind 240 Schweißnähte an 42 Knoten anzuschließen, beim Pentakisdodekaeder sind 180 Schweißnähte an 60 Knoten. Der Schweiß- bzw. Gussaufwand ist bei beiden Varianten gegenläufig. Für eine Prototypenfertigung müsste ein individuelles Angebot einer Fertigungsbetriebs Aufschluss über die Entscheidung geben. Die Kostenschätzung im Rahmen dieses Auftrags kann ohne Finanzierungsgrundlage mit vertretbarem Aufwand für die Fertigungsstätte nur auf Basis der Massen und Einheitspreisen erfolgen. Aus diesem Grund wurden beide Konstruktionen anhand der Massenbilanz abgewogen. Durch die etwas feinere Auflösung des verfeinerten Ikosaeders ergeben sich hier Vorteile in der Massenbilanz, sodass für den Modellversuch mit dieser Struktur gearbeitet wird. Die Stablängen, Abmessungen und Winkel dieser Struktur werden in Tabelle 21 zusammengefasst. Als Material wird wie beim Zylinder ein Stahl der Güte S355 verwendet.

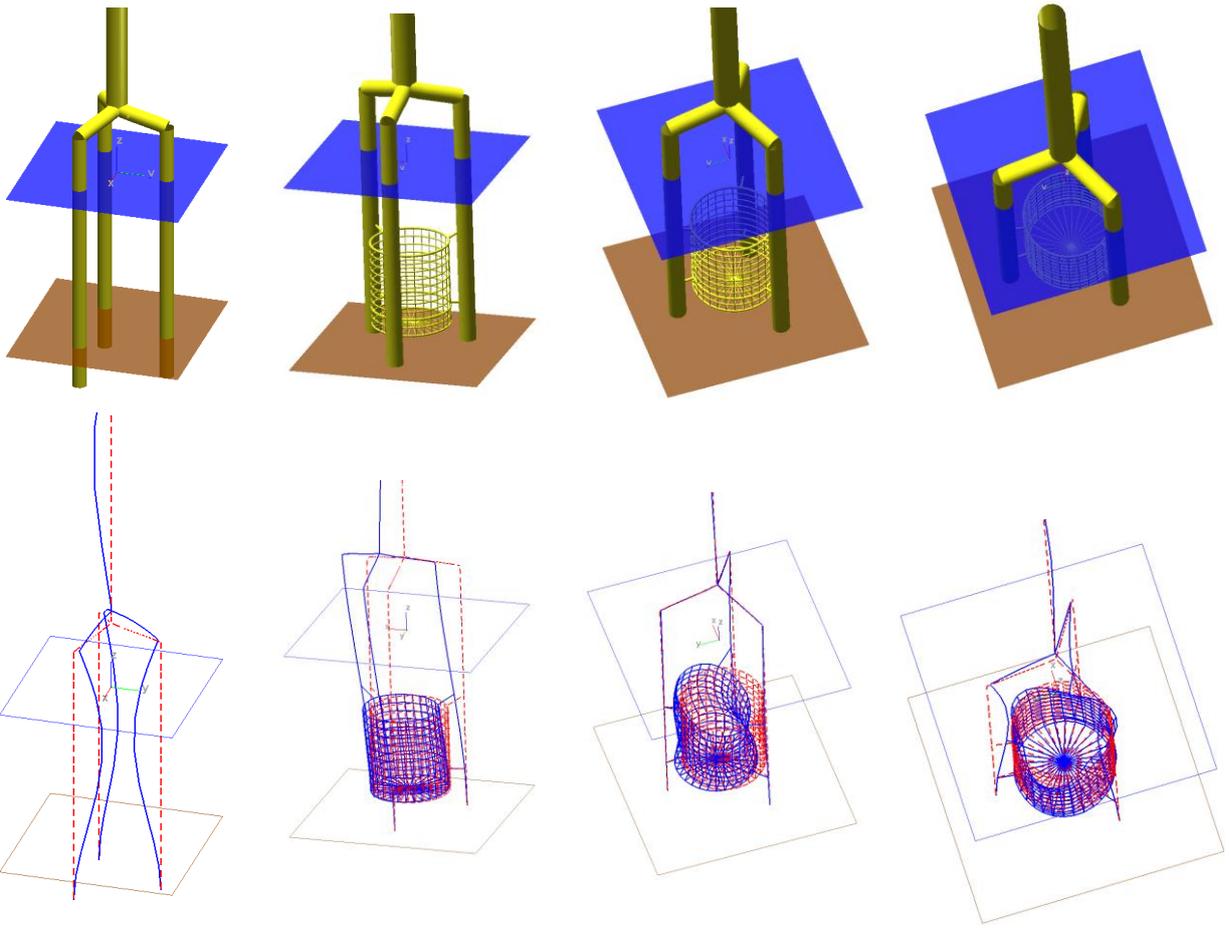
Tabelle 21: Abmessungen des Kugelkäfigs mit Durchmesser 13.500 mm

	D [mm]	T [mm]	Anzahl	Länge [mm]
Stabtyp 1	160	20	60	3550
Stabtyp 2	160	20	60	4010
Knoten 1	160	30	12	-
Knoten 2	160	30	30	-

Auswirkungen der integrierten Käfige auf die Tragstrukturdynamik

Am Institut für Stahlbau laufen in dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit geförderten Forschungsvorhaben „Verifikation von Offshore-WEA (OWEA)“ (FKZ. 0327696 C) eingehende Untersuchungen zur gekoppelten Dynamik von Rotor-Gondel-einheit und lokalen Tragstruktureigenschwingungsformen. Diese dynamischen Kopplungen Erzeugen möglicherweise nennenswerte zusätzliche Ermüdungslasten in aufgelösten Tragstrukturen, sofern interne Resonanzen zwischen lokalen Tragstrukturschwingungen und z.B. Blattfrequenzen zusammenfallen. In diesem Vorhaben konzentrieren sich die Untersuchungen auf Jackets und Tripods, tendenziell lassen sich die Erkenntnisse aber auch auf Tripiles übertragen. Aus diesem Grund wird eine Voruntersuchung durchgeführt, um den Einfluss eines fest angeschlossenen Käfigs auf die Tripile-Dynamik zu untersuchen. Von Interesse ist die Anregung lokaler Schwingungen der Gründungspfähle des Tripiles zwischen Meeresgrund und Stützkreuz. Hierzu wurde das OWEA-Modell mit Tripile anhand der bereitgestellten Konstruktionsdaten von BARD Engineering aufgebaut, um eine Modalanalyse der Tragstruktur mit Käfigmodell durchzuführen. Die Daten des Turms und der Rotorgondel-einheit wurden den technischen Daten auf der Homepage www.bard-offshore.de der BARD-Gruppe entnommen. Als Anlagenmodell wurde die frei verfügbare 5 MW OWEA NREL Baseline verwendet und an die Daten der BARD OWEA angepasst. Ziel war nicht eine exakte quantitative Aussage über Ermüdungslasten, sondern die Abschätzung potentiell negativer Einflüsse durch den im Tripile integrierten Fischkäfig.

Ergebnis dieser Untersuchungen ist zunächst eine Neigung des Tripiles zu lokalen Schwingungen. Dieser Effekt wird durch eine zusätzlich wirksame Käfigmassen und angreifende Käfiglasten im Bereich der Gründungspfähle in verstärkt. Dieser Einfluss sollte durch eine gekoppelte aero-servo-hydro-elastische Simulation genauer untersucht werden, steht aber nicht Fokus des Auftrags vom Institut für Stahlbau im Projekt OOMU. Darüber hinaus werden signifikante Kopplungen von Käfig und Tragstruktur festgestellt, die sich nicht auf die lokalen Moden beschränken. In den höheren Biegeeigenformen des Tripiles wirkt der steif konstruierte Käfige mit steifer Kopplung an den Tripile, wie eine unplanmäßige Aussteifungskonstruktion zwischen den Gründungspfählen. Aus diesem Grund muss davon ausgegangen werden, dass eine so konstruierte Befestigungskonstruktion infolge der großen Zwangskräfte aus den Differenzverformungen der Pfähle des Tripiles in kurzer Zeit ermüdet. Abhilfe kann zum einen eine sehr weiche Befestigungskonstruktion schaffen oder alternativ ein definiertes Kontaktspiel, sodass nicht alle drei Tripiles gleichzeitig als Lagerung wirkten. Die erste Variante spricht für federartige Stäbe zwischen Käfig und Gründungspfahl und erzeugt aus den Käfiglasten signifikant größere Kräfte in der Feder, die in Wellenrichtung wirkt. Dies hat Nachteile für die Dimensionierung des Käfigs, da ein Lagerpunkt einen Großteil der Käfiglasten aufnimmt und so sehr ungleich Lasten an den Lagern in den Käfig eingeleitet werden. Ähnlich verhält es sich mit bei einer Lagerung die nur Zugkräfte aufnimmt. Hier wirken sehr ähnlich zu dem zuvor beschriebenen Lastabtrag ein bis zwei Lagerpunkte über den Umfang. Im nächsten Abschnitt werden einige Vorschläge für die Lagerpunkte diskutiert.



Tripile-Modell

3. Globale Biegung
mit lokalen
Schwingungen

Tripile-Käfig-Modell

2. Globale Biegung
mit Käfigzwang

Tripile-Käfig-Modell

3. Globale Biegung
mit Käfigzwang

Tripile-Käfig-Modell

3. Globale Biegung
mit Käfigzwang

Abb. 30: Tripile-Modell und gekoppeltes Tripile-Käfig-Modell: Eigenschwingungsformen mit lokalen Schwingungen der Gründungspfähle

Predesign der Befestigungskonstruktion der integrierten Käfige

Auf Basis der zuvor vorgestellten Untersuchungen zur werden verschiedene Befestigungskonstruktion schematisch vorgestellt und diskutiert. Für die Lastsimulation der finalen Käfigdimensionierung wird die Masse der Befestigungsvarianten abgeschätzt, damit dies sofern erforderlich in das Simulationsmodell einfließen kann. Generell wird nach Abgleich mit vorhandenen Befestigungskonstruktionen festgestellt, dass Erfahrungswerte vorwiegend für schwimmende Konstruktionen und sehr nachgiebige, seilartige Befestigungen vorliegen. Im Gegensatz dazu muss die Befestigungskonstruktion der integrierten Käfige für den Anwendungszweck des OOMU-Projektes eine Kompromiss zwischen ausreichend steifer und nachgiebiger Auslegung gefunden werden. Die Befestigungskonstruktion muss durch ihre Nachgiebigkeit die dynamische Kopplung zur Tragstruktur signifikant reduzieren, aber ausreichend steif sein, um den Käfig sicher im gewünschten Lichtraum zwischen den Gründungspfählen zu halten.

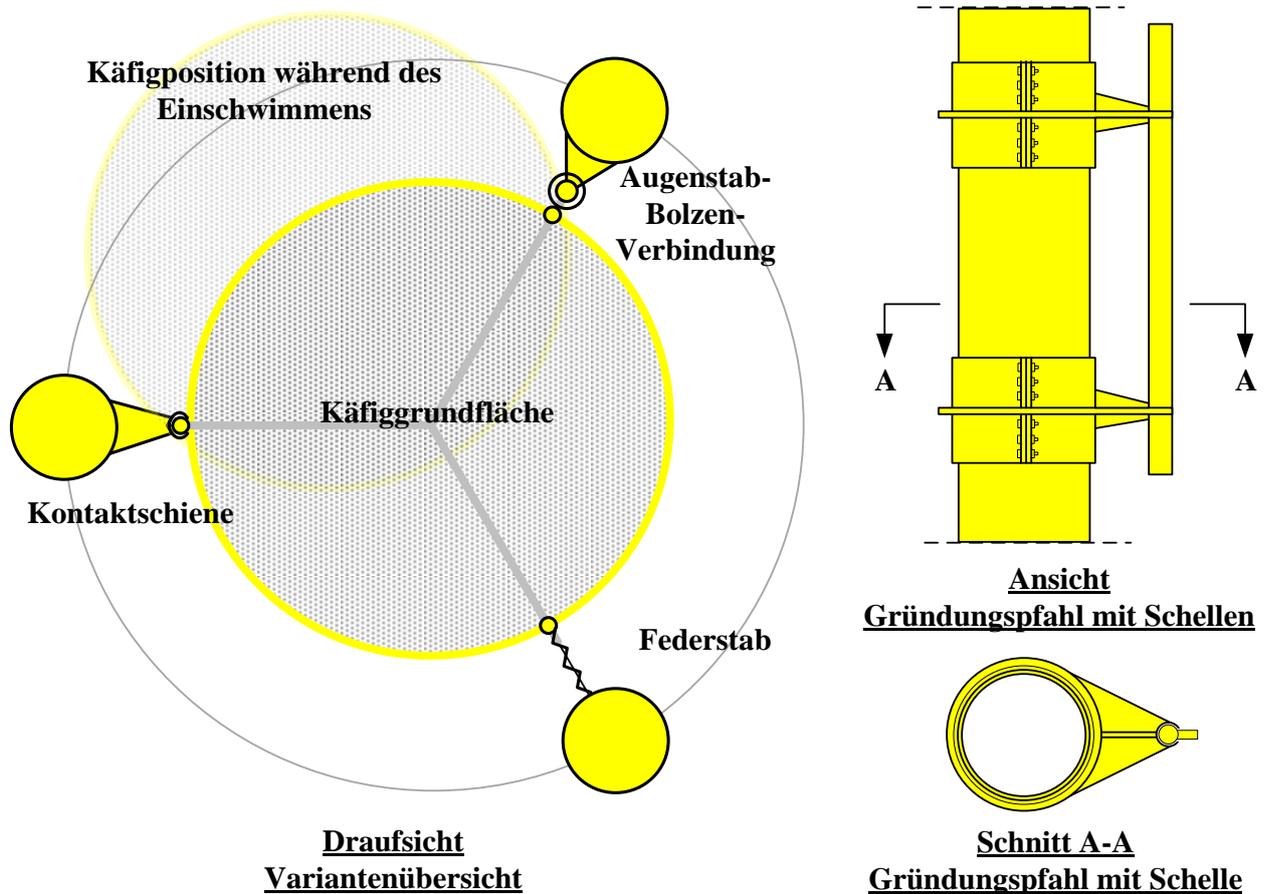


Abb.31: Befestigungsvarianten für die integrierten Käfige (links) und Schellenanschluss im Detail (rechts)

Zusammenfassend wird durch diese Vordimensionierung deutlich, dass jede Variante der Befestigungskonstruktion eine nennenswerte Zusatzmasse aufweist, die an der Tragstruktur befestigt werden muss. Die Abtragung dieser Vertikallasten kann durch die nachträgliche Befestigung an den Gründungspfählen nur über eine vertikale Reibkraftkomponente abgetragen werden. Hierfür ist eine planmäßige Normalspannung in der Kontaktfuge zwischen Gründungspfählen und Befestigungskonstruktion aufzubringen. Diese Randbedingung lässt eine Schellenverbindung sinnvoll erscheinen. Die Verbindung wird in der Symmetrieachse der Schelle durch vorgespannte, verschraubte L-Flansche gestoßen und bringt damit einen rotationssymmetrische Umfangsspannungen in die Wandung des Gründungspfahls. Die Verbindung wurde unter geschätzten Pfahlbeanspruchungen vordimensioniert, um lokales Beulen aus Überlagerung der Umfangsspannungen mit den globalen Lastbeanspruchungen aus Wind, Wellen und Anlagenbetrieb zu vermeiden.

Aus Vergleichsberechnungen scheint eine Nachgiebigkeit in der jeder Verbindung von rund 7 cm ausreichend. Die Nachgiebigkeit der Verbindung überlagert sich mit der Käfigverformung und sorgt so für eine signifikante Entkopplung der Tragstruktur- und Käfigverformungen. Mögliche Verbindungstypen sind in Abb. 31 dargestellt. Die Augenstab-Bolzen-Verbindung ist nicht machbar, weil ein frei auskragender Pile, über den der Ring gestülpt wird, eine Kraglänge von rund 30 m haben müssten. Da die Tragstruktur der OWEA bereits große Pfahldimensionen aufweist, scheint diese Variante nicht sinnvoll, da die Tragstruktur nicht zweckmäßig genutzt werden kann, um Material zu sparen. Mögliche Varianten sind weiterhin die Schienenverbindung mit Kontaktspiel und diskrete Federstäbe. Die Federstabvariante erforderte eine tragende Schiene am Tripile und am Käfig in denen drei bis fünf Federn gespannt werden. Aufgrund der Kinematik der Käfigverschiebungen und Winkelausrichtungen der Gründungspfähle wird bei weicher Auslegung der Federn die Federachse, die am ehesten in Wellenrichtung beansprucht wird, mehr als die doppelte Belastung der anderen beiden Federn erhalten. Gleiches gilt ebenfalls für Schiene mit Kontaktspiel, welche aus Sicht der Autoren die voraussichtlich robusteste Anschlussvariante ist.

Predesign des Großkäfigs

Abmessungen

Im Vergleich zu den Geometrieüberlegungen wurde der Käfig um 5 m auf eine Höhe von 17,5 m über Meeresgrund reduziert. Die Abmessungen des Großkäfigs werden anhand von Netzlasten aus der Literatur ermittelt. Eine nennenswerte Nachgiebigkeit der Lagerungskonstruktion hat nicht zur gewünschten Reduktion der Auslegungslasten geführt, sodass am Standort Veja Mate flexible Lagerungen nicht zweckmäßig sind. Im Vergleich zu der Belastung der reinen Stahlkonstruktion sind die Netzlasten signifikant dominanter als bei den integrierten Käfigtypen. Dies hängt mit dem Stababstand und der Anzahl der tragenden Stäbe zusammen. Der Käfig trägt im Wesentlichen über die vier Eckstäbe und schrägen Aussteifungsstäbe die Lasten ab (vgl. Abb.32). Am Kopf der Eckstäbe und in Höhe der schrägen Aussteifungsstäbe verlaufen Edelstahlseile zur Formgebung für das Netz und tragen die Lasten in die Eckstäbe ein. Aus biologischer Sicht bietet diese Käfigvariante sämtliche Nutzungsfreiheiten, auch die Anordnung von zusätzlichen Ablageebenen für die Zuchtfische ist analog zu den integrierten Käfigen möglich. Der Abstand zwischen dem Meeresgrund und der Unterkante des Käfigs wird zu 7,50 m festgelegt, damit die in dem Großkäfig in größeren Mengen ablagernden Stoffwechselprodukte in ausreichendem Maße aus dem Käfig gespült werden. Im Folgenden werden die Abmessungen, Massen und Lasten des Großkäfigs zusammengestellt.

Übersicht über die Abmessungen des Großkäfigs

Achsabmessungen

Höhe	17,50 m von Meeresgrund bis Oberkante Käfig
	10,00 m Höhe zur Fischzucht (konservative Annahme, max. 15 m)
Grundfläche	25,00 x 25,00 m

Gründung

- 4 Suction Buckets mit möglichst geringer Buckethöhe und Wanddicke um durch Auflast eine direkte Käfigfixierung während der Installation zu erreichen
- Schweißverbindung zum Käfigfachwerk

Verbindungen

- Geschweißte Rohrkonstruktion
- Steifenbleche am Übergang Suction Bucket – Käfigfachwerk und den Seilführungen

Verwendeter Werkstoff

- Stahl S355

Tabelle 22: Querschnitte des Großkäfigs

	D [mm]	T [mm]	Anzahl	Länge [mm]
Eckstiele	1.100	30	4	17.500
Horizontalstäbe	700	25	4	25.000
Diagonalen oben	700	40	8	12.201
Diagonalen unten	700	30	8	10.260
Buckets	4.000	35	4	3.000
Bucketdeckel/Steifen	-	20	4+16	800

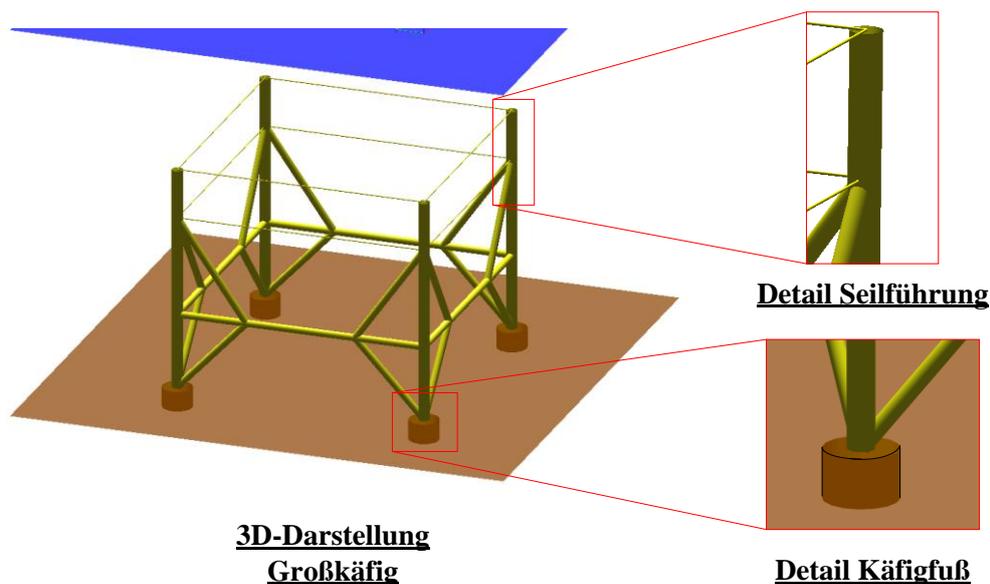


Abb. 32: Großkäfig und Details zur Seilführung des Netzes und des Käfigfußes

Die Stahlmasse des Käfigs inklusive der Gründung liegt bei rund 310 t und das Volumen beträgt etwa 9.000 m³. Die Lasten fallen im Vergleich zu den integrierten Käfigen nicht um eine Größenordnung höher aus, da die senkrecht angeströmten Netzflächen nur um den Faktor 2,5 größer sind. Entsprechend günstig wirken sich die Lasten auf das Verhältnis zwischen Zuchtvolumen und Stahlmasse aus.

Befestigungsvorschläge

Die Gründung des Großkäfigs wurde eingehend in der Projektgruppe diskutiert. Die in

Abb. dargestellte schwimmende Variante wurde über Langleinen an den Gründungspfählen des Tripiles befestigt. Diese horizontale Lasteinleitung in die Pfähle in Höhe des Meeresgrund stellt die optimale Gründungsform dar, weil keine weiteren Bauteile errichtet werden müssen und die Einleitung der Horizontallasten ohne Verstärkung des Tripile möglich scheint. Problematisch wird allerdings die Leinenführung bewertet, sodass aus Wartungs- und Betriebssicht diese Seilführung zwischen den Anlagen nicht gewünscht wird. Ein Abreißen der Leinen durch fahrende Wartungsschiffe scheint ebenfalls sehr wahrscheinlich. Auch die Länge der Leinen von mehreren Hunter Metern wird als konstruktiv nachteilig bewertet.

Gründung

Aus diesem Grund wird auf eine autarke Gründung des Großkäfigs umgeschwenkt. Bei der Gründung sollte analog zum Vorgehen bei der Lebenszyklusbetrachtungen von Tragstrukturen für OWEA die Deinstallation nach Ablauf der Nutzungsdauer im Auge behalten werden. Aufgrund der signifikant geringeren Biegebeanspruchung der Käfigstruktur im Vergleich zu OWEA-Strukturen bietet sich die

für OWEA kaum eingesetzte Suction Bucket Gründung hervorragend an. Erfahrungen gibt es z.B. mit der Gründung von Messmasten. Besonderer Vorteil dieser Gründung ist die einfache Installation über das Eintragen eines Unterdrucks in den „Gründungseimer“ bzw. eines Überdrucks zur Deinstallation. Weitere Rammarbeiten für die Gründung des Großkäfigs sind entbehrlich. Für eine möglichst kurze Auslegung der Buckets müssen bei der Bemessung gegen abhebende Zuglasten aus Sicht der Autoren keine besonders erhöhten Sicherheitsfaktoren eingehalten werden. Aufgrund der großen Aufstandsfläche des Käfigs sowie dem Verhältnis zwischen stabilisierendem Moment aus ständigen Vertikallasten und destabilisierendem globalem Wellenbiegemoment besteht keine Kippgefahr.

7.3.5 Begleitung der Modellversuche und Vergleichsrechnungen

Begleitung und Auswertung der Modellversuche

Während der Begleitung der Modellversuche wurde zunächst das Franzius-Institut bei der Skalierung und Planung des Tripile-Modells unterstützt. Eine Planübersicht wurde vom Institut für Stahlbau bereitgestellt. Gleiches gilt für die beiden integrierten Käfigvarianten Zylinder und Kugel. Der Großkäfig konnte aufgrund der großen Abmessungen nicht sinnvoll im Wellenkanal Schneiderberg untersucht werden. Zu den Netzlasten dieser weniger kompakten Struktur steht ausreichend Literatur zur Verfügung, die durch die Versuchserfahrungen aus den beiden integrierten Käfigvarianten ergänzt werden konnten.

Die Versuche werden im Detail im Bericht von (Goseberg, Franz und Schlurmann 2012) beschrieben und mit Ergebnissen vorgestellt. Dieser Abschnitt beschränkt sich daher unter Verweis auf den Bericht auf die Auswertung der Versuche zur Übertragung der Messungen auf das 1:1 Modell und die Vorstellung der Vergleichsrechnungen zur Kalibrierung der Lastparameter. Unter der Voraussetzung von kleinen Verschiebungen des Käfigs im Vergleich zur Länge der Pendelstäbe mit Kraftmessdosen, können die Kräfte unter der Annahme von gleichmäßigen Verschiebungen zur Kontrollzwecke abgeschätzt und mit den exakt vektoriell addierten Werten verglichen werden. Hierbei sind die Verschiebungsrichtungen der nicht in Krafrichtung wirkenden Kraftmessdosen zu berücksichtigen. Der Kraftanteil der von schräg wirkenden Kraftmessdosen aufgezeichneten Kräfte ist über den Faktor $\sin(30^\circ)$ anzumindern, um die Kräfte zu resultierenden zusammenzufassen. Zur Kontrolle der Messstellenlage kann die maximal gemessene Kraft am Bein des Tripiles mit der Kraftmessdose in Wellenrichtung mit dem Faktor 1,5 belegt werden. Das Ergebnis dieser Plausibilitätskontrolle stimmt bei Verwendung der korrekten Messstellenlage und Lastfaktoren je Messstelle zur Ermittlung der resultierenden Gesamtlast des Käfigs sehr gut mit der genauen Berechnung überein. In Fällen, in denen die beiden Werten stark voneinander abweichen, wird der Verlauf der Kraftzunahme und die Plausibilitätskontrolle verwendet, um auffällig zu große oder zu kleine Kräfte von der Auswertung auszunehmen. Die Kräfte des Versuchs im Maßstab 1:40 sind mit dem Faktor $1/(1/40)^3$ zu multiplizieren, um Vergleiche zu den Ergebnissen der numerischen Simulation ziehen zu können. Messfehler bzw. Fehler der Skalierung und Ergebnisübertragung auf den Realmaßstab wirken sich folglich in der dritten Potenz aus. Eine Toleranz von 10 % im Modellmaßstab wirkt sich im Realmaßstab daher als 33 % Abweichung aus. Die Versuchsergebnisse werden daher vorwiegend für die Kontrolle von Tendenzen und Kraftverhältnissen zwischen den 3 Messkampagnen „Käfig“, „Käfig mit einer Netzlage“ und „Käfig mit 2 Netzlagen“ verwendet. Darüber hinaus können die Kräfte auf die Käfigvarianten Zylinder und Kugel vergleichend betrachtet und den Verhältnissen der Kräfte aus der numerischen Simulation gegenübergestellt werden. Grundsätzlich wird in bei Betrachtung des Tripiledurchmessers im Vergleich zur Wellenlänge vermutet, dass die Drehung des hydrodynamisch transparenten Tripiles um 60° die Stömungsverhältnisse bzw. Kraftmessungen nur unwesentlich beeinflusst. Diese Annahme wird im Rahmen der Vergleichsrechnung überprüft.

Aufgrund der Strukturdimensionen und der Abmessungen des Wellenkanals Schneiderberg wurde die skalierte Wassertiefe im Modellversuch zu 30 m festgelegt. Die folgenden Gegenüberstellungen von gemessenen und simulierten Kräften können daher nicht direkt auf die Verhältnisse am Standort Veja Mate übertragen werden. Die Versuche zur Überprüfung und Validierung des Simulationsmodells verwendet. In einem zweiten Berechnungsschritt wird im Modell die Wassertiefe auf 40 m

erhöht, um die zu erwartenden Kräfte numerisch zu ermitteln. Als Anhaltswert wurde vorab der Referenzpfehl erneut berechnet. Unter Versuchsbedingungen von einem ca. 30 % höheren Lastniveau auf den Käfig auszugehen, weil die gleichen Wellen gleicher Höhe und Periode bei geringeren Wassertiefen insbesondere größere horizontale Wellenlasten erzeugen.

Auswertung und Vergleichsrechnung Zylinder

Die Ergebnisse der Zylinderexperimente wurden in Tabelle 23 zu resultierenden Kräften zusammengefasst, weil ein reiner Vergleich von gemittelten Maximallasten anfälliger für versuchsbedingte Toleranzen ist. Generell ist erkennbar, dass die skalierten Lasten des Versuchs signifikant unterschätzt werden. Besonders groß ist die Abweichung zwischen skalierten gemessenen und simulierten Lasten bei Ansatz von nur einer Netzlage, wenn man die absoluten Werte heranzieht. Dieses Vorgehen scheint vor dem Hintergrund von möglicherweise hochskalierten Abweichungen im Versuch nicht sinnvoll. Es ist jedoch anzumerken, dass die maximale Abweichung von 62 % im Realmaßstab lediglich 17 % im Modellmaßstab entspricht.

Tabelle 23: Zusammenfassung der Versuchsergebnisse des Zylinderskäfigs ohne, mit einer und mit zwei Netzlagen (maximale Käfiglast: max F, Kontrollwert mit 1,5-facher Maximallast der Kraftmessdosen in Wellenrichtung: 1,5 max max F_{II}, Skalierte Versuchslast im Realmaßstab: Skaliert, Numerisch ermittelte Last: Simulation, Zunahme der skalierten Versuchslast durch weitere Netzlage zur simulierten Versuchslast durch weitere Netzlage: F_{i,Skal}/F_{i,Simu})

	max F _{res} für 0°			max F _{res} für 60°		
	Käfig	+1 Netz	+2 Netze	Käfig	+1 Netz	+2 Netze
max F [N]	15,5	50,5	77,5	20,5	50,8	75,0
1,5 max F _{II} [N]	15,75	52,5	80,3	19,5	48,0	72,0
Skaliert [kN]	992	3232	4960	1312	3248	4800
Simulation [kN]	848	1992	3451	848	1992	3451
F _{i,Skal} /F _{i,Simu}	-	1,39	0,89	-	1,05	0,85

Ausgehend von einer akzeptablen Übereinstimmung zwischen Versuch und Simulation für den reinen Käfig beträgt die relative, mittlere Abweichung der Lastzunahme durch eine weitere Netzlage für die untersuchten Wellenrichtungen 0° bzw. 60° zwischen 39 % und 5 %. Die mittlere Abweichung beider Richtungen von ca. 22 % entspricht im Modellmaßstab nur 3 % und liegt damit aus Sicht der Autoren deutlich im Bereich von versuchsbedingt möglichen Toleranzen. Entscheidender ist, dass die Lasten durch die Überlagerung der Käfiglasten und der Netzlasten bei Ansatz von einer Netzlage durch die Simulation signifikant unterschätzt werden. Hier bestünde für die finale Bemessung anpassungsbedarf. Weniger eindeutig wird das Bild bei Betrachtung der Verhältnisse für zwei Netzlagen. Der relative Fehler nimmt hier stark ab. Die relativen Zusatzlasten durch die zweite Netzlage werden durch die Simulation überschätzt. Hier bestätigt sich vermutlich, dass die Netzlastansätze leicht oberhalb der zulässigen Netzdichte angewendet wurden. Diese Erkenntnis ist essentiell für die Entwicklung der hydrodynamischen Eigenschaften durch Käfigbewuchs. Offenbar nehmen die Lasten durch einen höhere Netzdichte weniger schnell zu als sich mit dem Simulationsmodell vorhersagen lässt. Eine reine Überlagerung der Käfiglasten und der Netzlasten scheint mit zunehmender Netzdichte (0) konservativ zu sein. Dennoch ist festzuhalten, dass hinsichtlich der hydrodynamischen Parameter von Käfig und zusätzlichen Netzlagen für eine wirtschaftliche Bemessung Anpassungsbedarf besteht. Im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie werden die Beiwerte um 25 % erhöht, um den Abweichungen zwischen Versuch und Simulation gerecht zu werden. Diese Größenordnung deutet auf eine nicht gänzlich hydrodynamisch transparente Struktur hin. Dieses erhöhte Lastniveau wird für die finale Bemessung zugrunde gelegt und kann zwischen dem theoretischen begründeten Lastmodell aus der Simulation und den Versuchslasten eingeordnet werden. Für genauere Annahmen sind weitere Versuche im Großmaßstab in Verbindung mit umfangreichen CFD-Simulationen erforderlich oder alternativ weitere Kraftmessungen an einem Prototypen im Realmaßstab. In Verbindung mit dem maximalen Ausnutzungsgrad von rund 50 % im Rahmen des Predesigns, ergeben trotz dem erhöhten Lastansatz für die finale Bemessung Reserven zur Optimierung.

Auswertung und Vergleichsrechnung Kugel

Im Gegensatz zu den Ergebnissen des Zylinderkäfigs stimmen die Ergebnisse von Simulation und Versuch für die Kugel sehr gut überein (vgl. Tabelle 24). Ausschließlich die Lasten der Kugel ohne werden signifikant unterschätzt. Die weiteren Lastzuschläge durch die erste und zweite Netzlage werden durch das theoretische Modell für die Simulation überschätzt. Hierdurch wird deutlich, dass aus den Versuchen keine klare Tendenz für die Lastkoeffizienten abgeleitet werden kann.

Da die Kugel im Vergleich zum Zylinder wesentlich weniger Strömungswiderstand bietet, wird als Grund für die Streuungen der Ergebnistendenzen die Form des Käfigs vermutet. Für die finale Bemessung müssen bei der Kugel keine nennenswerte Änderungen an den hydrodynamischen Parametern gemacht werden, weil sich die Lasten für den maßgebenden bemessungsrelevanten Lastfalls mit doppelter Netzlage aus der Simulation ergeben.

Bemerkung zu den Strömungsverhältnissen

Die Strömungsverhältnisse auf den Käfig werden durch die Drehung des Tripiles offenbar nur geringfügig verändert. Die Lasten sind in beiden Versuchskonfigurationen 0° und 60° vergleich. Nicht vergleichbar hingegen ist der Einfluss der Anzahl der Netzlagen bei Zylinder und Kugel. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Tabelle 24: Zusammenfassung der Versuchsergebnisse des Kugelkäfigs ohne, mit einer und mit zwei Netzlagen (maximale Käfiglast: max F , Kontrollwert mit 1,5-facher Maximallast der Kraftmessdosen in Wellenrichtung: 1,5 max max F_{II} , Skalierte Versuchslast im Realmaßstab: Skaliert, Numerisch ermittelte Last: Simulation, Zunahme der skalierten Versuchslast durch weitere Netzlage zur simulierten Versuchslast durch weitere Netzlage: $F_{i,Skal}/F_{i,Simu}$)

	max F_{res} für 0°			max F_{res} für 60°		
	Käfig	+1 Netz	+2 Netze	Käfig	+1 Netz	+2 Netze
Zylinder	8,5	22,25	29,75	10,3	22,0	29,8
Zyl. 1,5 max F_{II}	5,25	20,25	27,75	9,8	22,5	31,5
Skaliert [kN]	544	1424	1904	656	1408	1904
Simulation [kN]	307	1070	2159	307	1070	2159
$F_{i,Skal}/F_{i,Simu}$	-	0,75	0,66	-	0,62	0,67

Ableitungen der Lastansätze für den Großkäfig

Aufgrund der akzeptablen Übereinstimmung zwischen mit dem Simulationsmodell berechneten und im gemessenen Versuch hydrodynamischen Kräften auf die zuvor vorgestellten integrierten Käfigvarianten wird davon ausgegangen, dass der Predesign-Phase für die finale Bemessung des Großkäfigs als ausreichend angesehen werden kann. Bei der finalen Auslegung der Käfige können die Bemessungsreserven zur Abdeckung von Unsicherheiten in den Lastannahmen reduziert werden. Neben der Optimierung der Stabquerschnitte ist auf dieser Basis eine Bemessung der Käfiggründung ebenfalls möglich.

7.3.6 Optimierung der Käfigstrukturen

Zylinder

Die Einwirkungen des Zylinderkäfigs werden durch die Netzlasten dominiert. Der Käfig selbst kann im Vergleich als hydrodynamisch transparent eingeordnet. Der zusätzliche Verbaugrad durch das umhüllende Netz ändert dieses Verhältnisse moderat und verlangt für eine einen Optimierungsprozess, der über den Genauigkeitsgrad dieser Machbarkeitsstudie hinausgeht, umfangreichere Untersuchungen zu den Lastansätzen selbst. Dies gilt insbesondere mit Blick auf die Integration des Last- und Strukturmodells des Käfig in den Auslegungsprozess einer Tragstruktur für eine OWEA. Die Anwendung von komplexen CFD-Modellen ist daher nur bedingt zielführend und stellt aus Sicht der Autoren nur in Verbindung mit weiteren großmaßstäblichen Versuchen einen Zwischenschritt hin zur Entwicklung eines für den OWEA-Simulationscodes praktikablen Lastmodells dar.

Verwendete Querschnitte der Käfigstäbe (Ebenen- und Stabzuordnungen in Abb. 27)

Tabelle 25: Abmessungen der Rohrquerschnitte mit Durchmesser D und Wanddicke t

Bauteilbezeichnung	D [mm]	t [mm]	Anzahl
Kreisring Käfigkopf Ebene 1	300	20	1
Kreisring Käfigboden Ebene 11	300	20	1
Aussteifungsringe Ebenen 3/5/7/9	250	20	4
Zwischenringe Ebenen 2/4/6/8/10	125	16	5
Vertikale Aussteifungsstäbe Stäbe 1, 2, 3 + 8, 9, 10 + 15, 16, 17	400	25	9
Vertikalstäbe Stäbe 4, 5, 6, 7 + 11, 12, 13, 14 + 18, 19, 20, 21	100 100	16 16	12 12
Bodenstäbe verstärkt Stäbe 1,3 + 8, 10 + 15, 17	250	20	6
Bodenstäbe Stäbe 2, 4, 5, 6, 7 + 9, 11, 12, 13, 14 + 16, 18, 19, 20, 21	100	16	15

Im Rahmen der finalen Käfigbemessung wurden die Lager speziell modelliert. Jeder der 6 Lagerpunkte, die die Verbindung zum Tripile darstellen, trägt ausschließlich Zugkräfte ab. Diese Modellierung entspricht der Schienenlagerung, die auf Lasten nur durch Druckkontakt abträgt. Die Grundlagen für die finale Bemessung wurde in den Kapiteln 2 bis 4 vorgestellt. Im folgenden werden zusammengefasst die finalen Abmessungen des Zylinderkäfigs und die Belastung vorgestellt. Der Anschluss an die Gründungspfähle erfolgte über versteifte Ringschellen, welche durch L-Flanschverbindungen als Halbsegmente an den befestigt werden können (Abb. 31).

Verwendete Querschnitte der Anschlusskonstruktion

Tabelle 26: Abmessungen der Querschnitte mit Durchmesser D und Wanddicke t

Bauteilbezeichnung	D [mm]	t [mm]	Anzahl
C-Schiene	500	max 50 min 20	3
Schienenprofil am Käfig	330	25	3
Fachwerkstäbe	250	25	36
Horizontales Steifenblech	-	35	9
L-Flansch als Schellenschluss	-	50	18
HV-Schraubengarnituren 8.8	M48		126
Schellenring H = 1.500 mm	3450	max 40 min 15	9

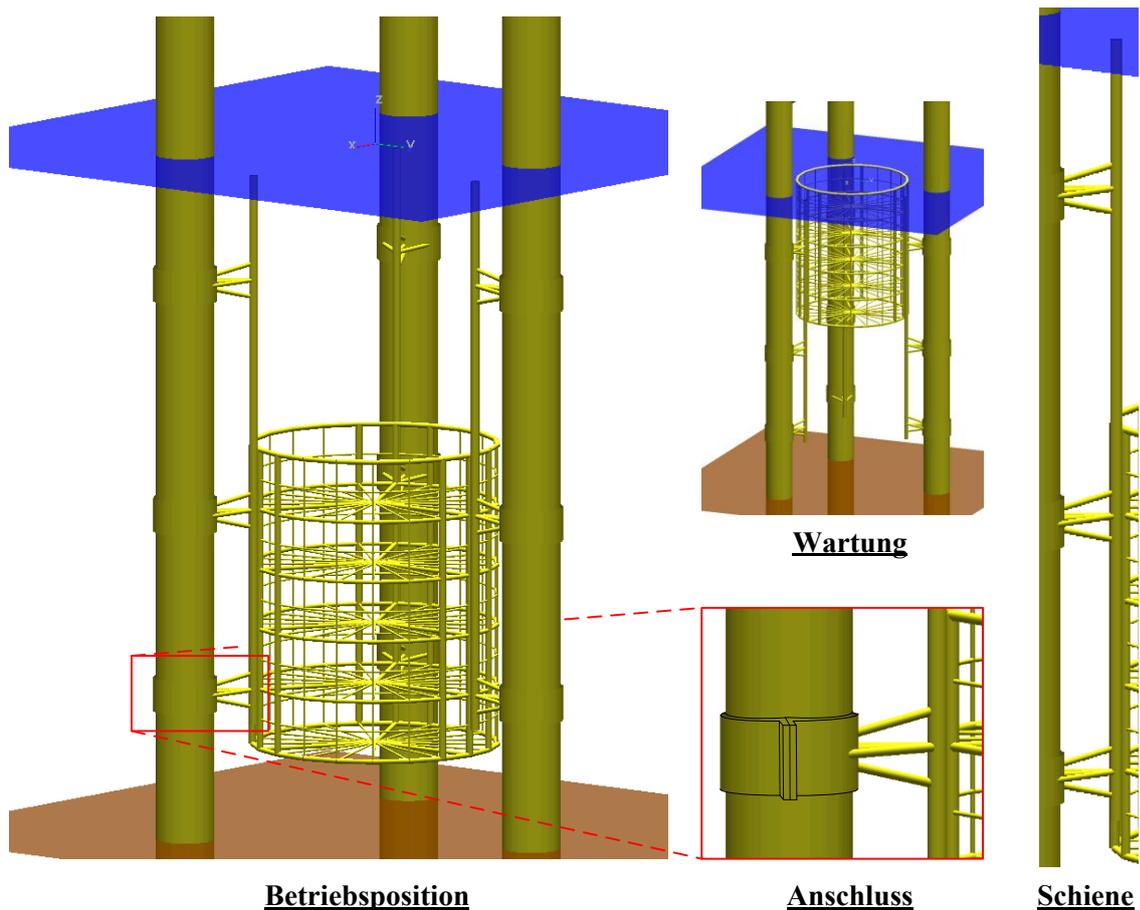


Abb. 33: Integrierter Zylinderkäfig im Tripile

Hervorzuheben ist, dass die Integration der Befestigungsstruktur in das Design der Gründungspfähle deutliche Gewichtseinsparungen ermöglichen würde. Die Wirtschaftlichkeit der integrierten Varianten kann durch ein integriertes OWEA-Aquakultur-Tragstrukturdesign erheblich gesteigert werden.

Tabelle 27: Stahlmassen und Volumen des Zylinderkäfigs und der Anschlusskonstruktion

Käfig	120 t
Anschluss	85 t
Volumen (Durchmesser 13,85 m)	2580 m ³
Gesamtmasse/Volumenkoeffizient	0,079

Für eine grobe Kostenschätzung wird in Anlehnung an übliche Preise aus der Tragstrukturfertigung für OWEA ein Einheitswert von rund 2.500 €/t Stahlmasse empfohlen, die für die Fertigung von komplexen Bauteilen angesetzt wird. Zusätzlich sind die Kosten für die Kalkulation zu berücksichtigen.

Die abgeschätzten Maximallasten je Anschlusspunkt und die Gesamtlast auf den Käfig sind in Tabelle 28 zusammengefasst. Für die integrierten Varianten wurde bei der Optimierung zur Lastreduktion von einer gesteckten Stegkonstruktion ausgegangen, die nach dem Liftvorgang der Käfige an der Wasseroberfläche in Konusadapter eingesteckt werden kann. Maßgebend für die Auslegung war durch Simulation des Seegangs in den Ermüdungslastfällen die 50-Jahres-Bemessungswelle mit T_{max} . Die Absenkung des Käfigs führt unter Ermüdungslastniveau zu sehr geringen Wellenlasten auf den Käfig. Erst ab signifikanten Wellenhöhen größer 7,5 m entstehen nennenswerte liefern die Wellenlasten eine nennenswerte Ermüdungsschädigung. Für die Vorbemessung der Auswirkungen auf die OWEA-Tragstruktur scheint deshalb die Berechnung im Grenzzustand der Tragfähigkeit ausreichend. Hierbei sollte der in Abschnitt 0 genannte Kombinationsfaktor von rund 0,70 berücksichtigt werden,

solange die Käfigstruktur nicht im Detail zur Beschreibung der zeitlichen Belastungsverläufe modelliert wird.

Tabelle 28: Maximale Auslegungslasten auf den Zylinderkäfig und maximale Last eines Anschlusspunktes (charakteristische Werte)

Maximallast auf	1,0-fach	0,7-fach
Käfig	3.756 kN	2.629 kN
Anschlüssen oben/unten	995/881 kN	697/617 kN

Die dargestellten Lasten entsprechen etwa der Wellenlast auf den Referenzpfahl aus Abschnitt 0, der einen einzelnen Gründungspfahl der Tripile repräsentiert. Die Wellenlast auf den Tripile wird folglich durch den Käfig um rund 1/3 vergrößert. Allerdings liegt der resultierende Hebelarm dieser Horizontallast nur etwa 14 m über dem Meeresgrund. Daher erzeugt die Zusatzbeanspruchung wesentlich geringere Zusatzbeanspruchungen im Tripile, weil die Dominanz des Biegemomentenanteils signifikant durch die tiefere Käfigposition reduziert wird. Der ganzjährige Einsatz dieses Käfig in einem bereits installierten Tripile im Windpark BARD Offshore I scheint aus Sicht der Autoren infolge der Zusatzlast nicht möglich, bei Ausnahme des Wintertrimesters aus der jahreszeitlichen Nutzung scheint die prototypische Erprobung möglich.

Kugel

Der Kugelkäfig hat signifikant günstigere hydrodynamische Eigenschaften und erzeugt daher geringere Zusatzlasten auf den Tripile. Die Anschlusskonstruktion aus Tabelle 26 kann aus diesem Grund ebenfalls optimiert werden. Die Knoten der Kugel werden als Gussbauteile hergestellt und vereinfachen daher den Herstellungsprozess, wie bereits in Abschnitt 0 erläutert wurde. Die besonderen Vorteile der freien Gestaltung der Knotengeometrie führen bei der Ermüdungsbemessung nicht zu signifikanten Vorteilen, da auch bei der Kugelstruktur im Wesentlichen die Extremlasten bemessungsrelevant sind. Die optimierten Abmessungen der Kugel werden analog zu den Angaben zum Zylinder tabellarisch zusammengefasst.

Verwendete Querschnitte der Käfigstäbe

Tabelle 29: Abmessungen des Kugelkäfigs mit Durchmesser 14.000 mm

	D [mm]	T [mm]	Anzahl	Länge [mm]
Stabtyp 1	150	20	60	3825
Stabtyp 2	150	20	60	4326
Knoten 1	150	30	12	-
Knoten 2	150	30	30	-

Verwendete Querschnitte der Anschlusskonstruktion

Tabelle 30: Abmessungen der Querschnitte mit Durchmesser D und Wanddicke t

Bauteilbezeichnung	D [mm]	t [mm]	Anzahl
C-Schiene	450	max 40, min 15	3
Fachwerkstäbe	200	25	36
Horizontales Steifenblech	-	25	9
L-Flansch als Schellenschluss	-	40	12
HV-Schraubengarnituren 8.8	M36	-	72
Schellenring H = 1.500 mm	3450	max 35 min 15	6

Die maximalen Lasten auf den Kugelkäfig betragen nur rund 55 % der Lasten auf den Zylinder. Aus diesem Grund konnte die Anzahl der Anschlagpunkte von neun auf sechs reduziert werden. Dies verringert den Installationsaufwand im Vergleich zum Zylinder. Weiterhin ist die Anschlusskonstruktion und der Käfig signifikant leichter als der Zylinder. Das Verhältnis zwischen Masse und Volumen liegt durch den hohen Massenanteil der Befestigungskonstruktion nur geringfügig unter dem Wert des Zylinders.

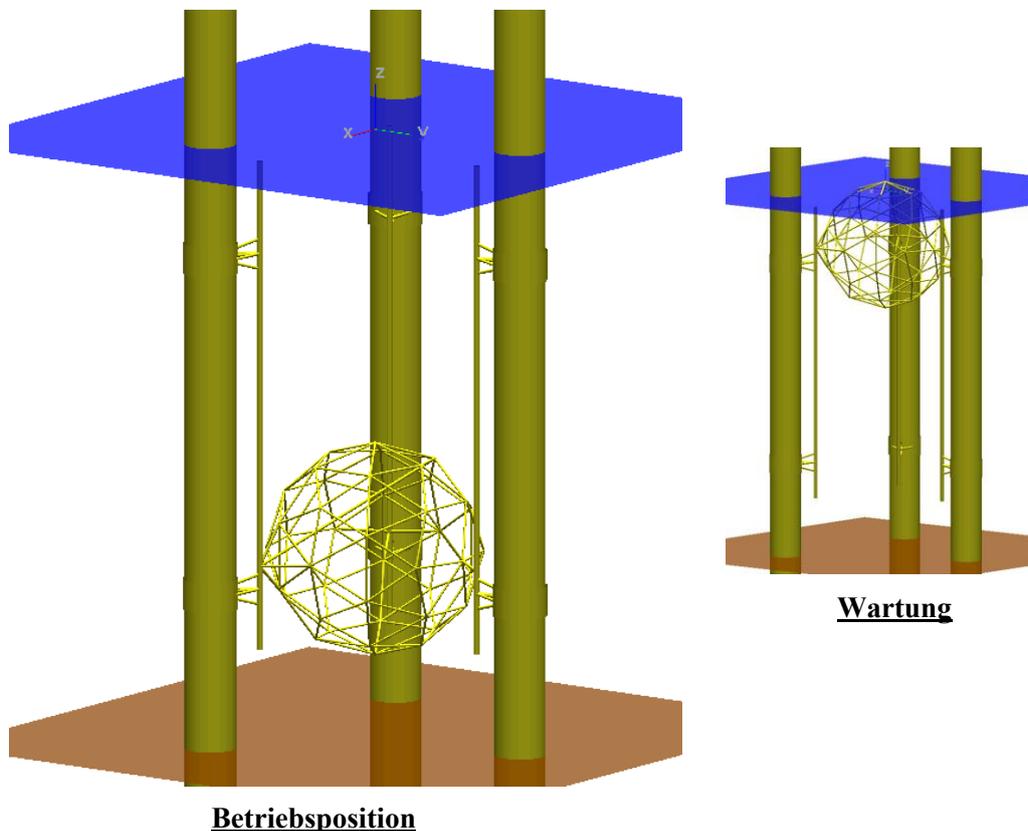


Abb. 34: Integrierter Kugelkäfig im Tripile

Tabelle 31: Stahlmassen und Volumen des Kugelkäfigs und der Anschlusskonstruktion

Käfig	38 t
Anschluss	55 t
Volumen (Durchmesser 13,50 m)	1260 m ³
Gesamtmasse/Volumenkoeffizient	0,074

Der große Anteil der Anschlusskonstruktion an der Gesamtmasse ergibt sich aus der lastverteilenden Wirkung zur Lasteinleitung in den Gründungspfahl. Ausgehend von einem nachträglichen Einbau der Käfigkonstruktion in den Tripile muss die Anschlusskonstruktion lokales Beulen vermeiden, da für lokale Krafteinleitungen entlang der Gründungspfähle keine Schottbleche angeordnet wurden. Wird die Anschlusskonstruktion direkt bei der Fertigung der Gründungspfähle integriert, so ist eine Massensparnis von rund 20 t möglich.

Tabelle 32: Maximale Auslegungslasten auf den Zylinderkäfig und maximale Last eines Anschlusspunktes (charakteristische Werte)

Maximallast auf	1,0-fach	0,7-fach
Käfig	2.029 kN	1.420 kN
Anschluss oben/unten	522/492 kN	365/344 kN

Großkäfig

Aus Sicht der Autoren ist der autarke Großkäfig eine sehr vielversprechende Konstruktionsvariante. Beim der finalen Bemessung wurde die zusätzlicher Kopfbelastung für die Eckstiele aus Wellenlasten auf Markerbojen und einer schwimmenden Gangway für Wartungsarbeiten einbezogen. Durch Umstellung von konstruktiven Details konnten weitere Gewichtseinsparungen erzielt werden. Die Konstruktion weist die folgenden Abmessungen, Massen und Belastung auf, Materialgüten haben sich im Vergleich zum Predesign nicht geändert.

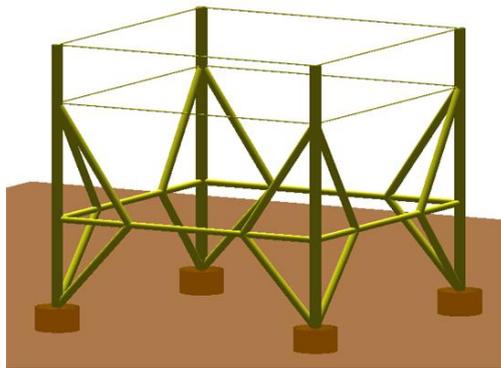


Abb. 35: Darstellung der finalen Großkäfigdimensionen

Tabelle 33: Optimierte Querschnitte des Großkäfigs

	D [mm]	T [mm]	Anzahl	Länge [mm]
Eckstiele	1.000	20	4	22.500
Horizontalstäbe	550	25	4	25.000
Diagonalen oben	700	40	8	12.201
Diagonalen unten	700	30	8	10.260
Buckets	3.800	30	4	3.000
Bucketdeckel/Steifen	-	20	4+16	800

Tabelle 34: Stahlmasse und Volumen des Großkäfigs

Großkäfig mit Buckets	260 t
Volumen (größere Zuchthöhe 15 m)	8960 m ³
Gesamtmasse/Volumenkoeffizient	0,029

Im Vergleich zu den integrierten Käfigvarianten hat der Großkäfig einen um rund 60 % günstigeres Massen-Volumenverhältnis und scheint daher der wirtschaftlichste Käfigtyp aller untersuchten Varianten zu sein.

Tabelle 35: Charakteristische horizontale Auslegungslasten auf den Käfig bzw. die Buckets

F_{\max} Käfig/Bucket	5.136 kN	1.411 kN
-------------------------	----------	----------

7.4 Abschlussberichte der AG 3 - Technik und Design Teil II: Hydraulische Modellversuche zur Ermittlung von Lasten auf Aquakulturkäfigen

Partner: Bard, Franzius-Institut, Institut für Stahlbau, Kutterfisch, IMARE

Dieser Bericht fasst die Ergebnisse der vom Franzius-Institut geleisteten Arbeiten im Rahmen des Projektes „Open Ocean Multi Use (OOMU)“ im Zeitraum vom 01.08.2010 bis 29.02.2012 zusammen.

Symbole und Abkürzungen

Symbol	Bezeichnung	Dimension		
C_D	Zugbeiwert	[-]	PIV	Partikle Image Velocimetry
d	Wassertiefe	[m]		
d_a	Durchmesser Pfahl	[m]		
F_r	Froudezahl	Fr		
h_R	Verluthöhe	[mm]		
h_S	Sign. Wellenhöhe	[m]		
h	Wasserspiegelausl.	[m]		
l_m	Achsabstand Pfähle	[m]		
l_m	Radius Teilkreis	[m]		
L	Wellenlänge	[m]		
t_p	Wanddicke	[m]		
Re	Reynoldszahl			
TP	Peakperiode	[s]		
v	Geschwindigkeit	[m/s]		
PIV	Partikle Image Velocimetry			

7.4.1 Hintergrund und Aufgabenstellung

Einleitung

Der globale Bedarf an aquatischen Lebensmitteln ist in den letzten Jahrzehnten enorm gestiegen. Nach Daten der Welternährungsorganisation (FAO) stehen einer Gesamtproduktion aus Fischerei und Aquakultur zu Beginn der 1950er Jahre von etwa 21 Mio. Tonnen etwa 160 Mio. Tonnen im Jahre 2004 gegenüber. Während die Produktionszahlen aus der Fischerei zunächst bis 1988/89 stetig anstiegen, stagnieren sie seit dieser Zeit oder konnten nur kurzzeitig erhöht werden. Im Gegensatz dazu steigen die Produktionsmengen aus der Aquakultur bis heute dauerhaft an und hat im Jahr 2009 eine Gesamtmenge von 55,1 Millionen Tonnen erreicht (FAO 2010). In Deutschland konnte sich eine Meeresmassenzucht aus vielerlei Gründen bisher nicht etablieren. Dazu zählen neben den bereits beschriebenen Nutzerkonflikten in den Küstenmeeren und in der ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) auch andere Probleme: die allgemein rauen Umweltbedingungen (starke Strömungsgeschwindigkeiten und hohe Wellen), die geographische und topographische Lage (geringe Wassertiefe, keine geschützten Buchten) und die kommerziellen Potentiale (hoher Personalaufwand) stehen einer konventionellen und kostengünstigen Aquakulturentwicklung entgegen. Eine positive Entwicklung kann es insofern sein, Aquakulturanlagen mit bereits bestehenden oder in der Errichtung begriffenen Offshore-Windenergieanlagen (OWEA) zu kombinieren.

Die positiven, synergetischen Effekte einer multifunktionalen Nutzung von Offshore-Windparks durch Aquakulturen müssen in einem Co-Management gebündelt werden, um eine effektive und wirtschaftliche Nutzung zu gewährleisten. Ziel des multidisziplinären Forschungsprojektes „Open Ocean Multi-Use“ (OOMU) ist daher einerseits die Realisierbarkeit einer Integration von Fischkäfigen in die Gründungsstrukturen von OWEAs in biologischer, technischer, ökonomischer, sowie in sozio-ökonomischer Hinsicht zu prüfen, sowie konkrete technische Lösungsansätze für dieses Vorhaben zu erarbeiten.

Ziel des Franzius-Instituts für Wasserbau und Küsteningenieurwesen (AN) ist es in diesem Zusammenhang, die vielfältigen Interaktionen von Aquakulturrücklagen auf der einen Seite so-wie den als Gründung verwendeten OWEAs und den einwirkenden Kräften auf der anderen Seite zu untersuchen. Einwirkende Kräfte entstehen sowohl aus Lasten durch sturminduzierte Wellen (Windwellen) als auch tideinduzierte Strömungen. Der Fokus der Arbeiten des AN liegt auf den welleninduzierten Lasten. Aus meeresbiologischer Sicht sind die Strömungsgeschwindigkeiten am und im Aquakulturrücklag (AKK) von besonderem Interesse, sodass für eine Beurteilung des Strömungsregimes auf Meeresorganismen die Änderungen der Strömungsgeschwindigkeiten durch zusätzliche AKK um die OWEA in diesem Bereich erfasst werden müssen. Aus technischer Sicht der OWEA-Hersteller und Ingenieure sind allerdings Strömungsgeschwindigkeiten und Kräfte infolge der AKK ebenfalls zu beurteilen. Weiterhin gilt es, eine Abschätzung möglicher Kolk-tiefen für die Standsicherheit zu treffen.

Strukturspezifikationen und Standort

In den kommenden Jahren sollen am Standort Veja Mate 80 neue 5 MW OWEAs installiert werden. Veja Mate liegt in der deutschen Nordsee rd. 90 km nördlich der Insel Borkum. Aufgrund der Wassertiefe von rd. 30 m sollen die OWEAs auf TriPile-Fundamenten gegründet werden. TriPile-Fundamente wurden neben einfachen Pfahl- und Schwergewichtgründungen als weiterer Fundamenttyp entwickelt, um besonders bei großen Wassertiefen eine sichere Gründung zu gewährleisten. Bei den Dreipfahlgründungen handelt es sich um drei Stahlrohre, die an ihrer Oberseite über ein eckiges Stütz-kreuz miteinander verbunden sind. Dieser neue Fundamenttyp ist kompakter, leichter und kostengünstiger als bisherige Offshore-Gründungssysteme und kann bei Wassertiefen von rd. 25 bis 40 m eingesetzt werden.

Naturmaßstab

Parameter	Abmessungen
r_m	11,5 m
l_m	20,0 m
d_a	3,5 m
t_p	50 mm

Modellmaßstab

Parameter	Abmessungen
r_m	28,9 cm
l_m	50,0 cm
d_a	8,75 cm
t_p	1,25 mm

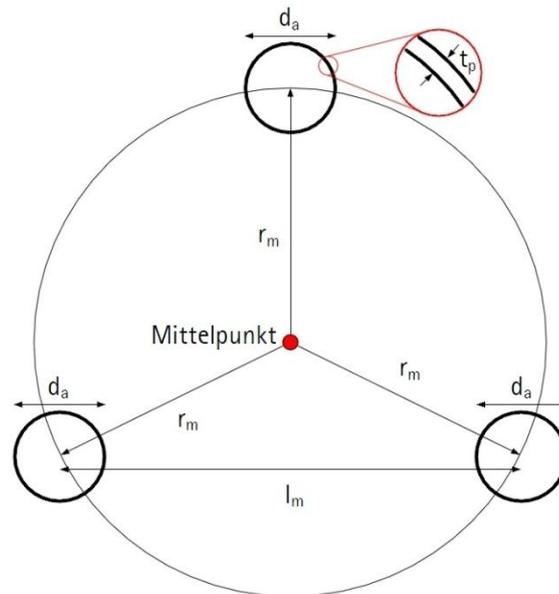


Abb. 36: Schnitt der idealisierten TriPile-Struktur im Naturmaßstab und gewählte Abmessungen in Anlehnung an den Standort Veja Mate sowie die maßstäbliche Verkleinerung im Maßstab 1:40

In Abb.36 ist der Aufbau eines TriPiles schematisch in der Draufsicht dargestellt. Die drei Pfähle des im Rahmen der Studie betrachteten TriPiles sind äquidistant in einem Abstand von 11,5 m zum Mittelpunkt angeordnet und haben einen Abstand von 20,0 m zueinander. Mit einem Durchmesser von 3,5 m und einer Wanddicke von 50 mm handelt es sich bei den Pfählen um Rohrprofile. Zwischen den drei Pfählen der TriPile-Struktur können mögliche Aquakulturkäfige angebracht werden. Für den Entwurf des Käfigdesigns und die Dimensionierung dessen wurde das Institut für Stahlbau der Leibniz Universität Hannover beauftragt. Der zylinderförmige Käfig hat eine Höhe von 17,5 m, einen Durchmesser von 14,0 m und wird 5 m über der Gewässersohle angebracht. Eine mögliche Gitterstruktur eines Zylinderkäfigs ist in der Ansicht, Draufsicht und 3D-Ansicht in der Abb. 37 dargestellt.

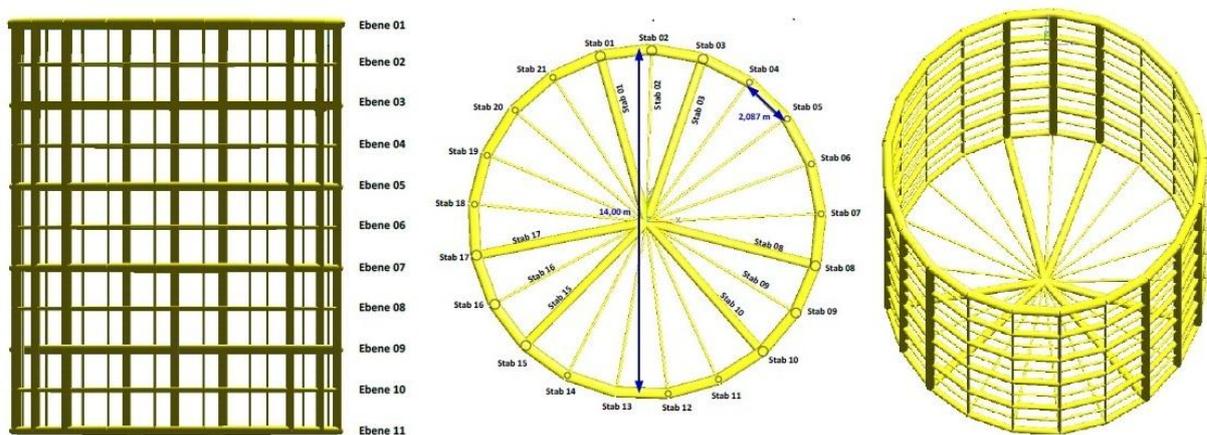


Abb. 37: Käfigdesign: Ansicht, Draufsicht und 3D-Ansicht (Abb. Institut für Stahlbau, Leibniz Universität Hannover)

Der Käfig bleibt für einen leichteren Befüllungs- bzw. Entleerungsvorgang an der oberen Seite offen und wird nur durch ein Netz vom umgebenden Wasserkörper abgetrennt. An der Unterseite sind insgesamt 21 Stäbe zum Mittelpunkt orientiert angeordnet, davon haben 15 Stäbe einen Durchmesser von 100~mm. Sechs Stäbe dagegen sind verstärkt und weisen einen Durchmesser von 375~mm auf. Die Anordnung der verstärkten Stäbe geschieht gleichmäßig. Die Stäbe 1 und 3, 8 und 10 sowie 15 und 17 sind jedoch verstärkt ausgebildet. Für eine genauere Darstellung der statischen und konstruktiven Details (Stabdurchmesser, Wandstärken, Ausbildung der Knoten, etc.) der Zylinderkäfigvariante wird auf den gesonderten Bericht des Instituts für Stahlbau der LUH verwiesen.

An den Seiten des zylinderförmigen Käfigs sind insgesamt 21 Vertikalstäbe angeordnet. Davon stellen neun Stäbe vertikale Aussteifungsstäbe dar und haben einen Durchmesser von 375 mm. Die anderen 12 Stäbe haben einen Durchmesser von 100 mm. Wie in Abb. 37 dargestellt, sind jeweils drei aufeinanderfolgende Vertikalstäbe verstärkt und jeweils vier aufeinanderfolgende einfach ausgebildet. So wirken die Stäbe 1, 2 und 3 beispielsweise als vertikale Aussteifungsstäbe, während die Stäbe 4, 5, 6 und 7 als einfache Vertikalstäbe fungieren.

Als weiteres Bauelement für die Käfigkonstruktion sind die horizontalen Kreisringe zu nennen. Insgesamt werden 11 Kreisringe verwendet, wobei es sich bei jedem zweiten Ring um einen Aussteifungsring mit einem Durchmesser von 300 mm handelt (vgl. Abb. 37). Weitere fünf Ringe sind sogenannte Zwischenringe und haben einen Durchmesser von 125 mm. Mit dem Kreisring am Käfigkopf schließt der Käfig ab. Dieser hat einen Durchmesser von 450 mm. Zusätzlich hierzu ist ein Schwimmkörper vorgesehen, der größtenteils die Eigenlast der Käfigkonstruktion aufnimmt.

Zusätzlich zu dem Zylinderkäfig ist auch eine Kugelkäfigvariante untersucht worden, die in Abb. 38 dargestellt ist. Der Durchmesser der Kugelvariante beträgt 14,0 m in der Natur. Es handelt sich bei der Kugelvariante um eine geometrische Figur, die aus einem Isokaeder mit 12 Ecken, 30 Kanten und 20 Flächen aufgebaut ist. Diese geometrische Grundfigur wird um Erweiterungen der Dreiecksflächen der Grundfigur ergänzt. Diese Dreiecksflächen wiederum bestehen aus 4 weiteren Dreieckselementen, die gegenüber der Grundfigur eine räumliche Erweiterung darstellen. Die so erweiterte Grundfigur besteht somit aus 42 Ecken und 80 Einzelflächen. Es werden für die Herstellung 2 Stablängen von 3,55 m und 4,01 m notwendig, die entweder an 5er oder 6er Knoten anschließen. Für eine genauere Darstellung der statischen und konstruktiven Details (Stabdurchmesser, Wandstärken, Ausbildung der Knoten, etc.) der Kugelkäfigvariante wird ebenfalls auf den gesonderten Bericht des Instituts für Stahlbau der LUH verwiesen.

Für beide AKK-Varianten ist in Absprache mit dem Auftraggeber ein Netz definiert worden. Die in den Abbildungen dargestellten Konstruktionen der AKKs stellen lediglich die konstruktiven Details dar. Es wird zusätzlich noch ein Netz an der Käfigkonstruktion befestigt, um zu verhindern, dass Fische entfliehen können. Das Netz hat eine Maschenweite von 4,0 cm bei einer Fadenstärke von 0,4 cm im Naturmaßstab.

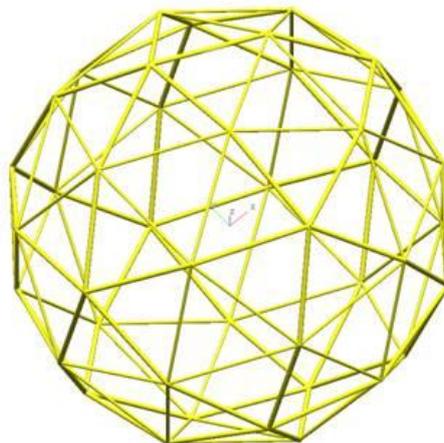


Abb. 38: Käfigdesign in Form einer Kugel (Abb. Institut für Stahlbau, Leibniz Universität Hannover)

7.4.2 Stand der Wissenschaft

Allgemeines

Das Verständnis der Interaktion von Wellen, Strömungen und Strukturelementen eines AKKs ist Voraussetzung für dessen Dimensionierung und Positionierung sowie der Beurteilung in Frage kommender Verankerungs- und Befestigungsstrukturen. Hierzu kommen Verankerungsseile, Schwimmkörper, Tragstrukturen von OWEAs oder Bojen in Frage. Neben den dynamischen Kräften, die auf die Grundkonstruktion der AKKs wirken sind auch die Kräfte von Interesse, die zusätzlich

durch die Netze auf die Konstruktionen übertragen werden. In diesem Zusammenhang ist von entscheidender Bedeutung, inwiefern die äußeren angreifenden Kräfte durch die zu untersuchenden Strukturen gedämpft werden können. Weiterhin ergibt sich auch eine Wechselwirkung mit der angreifenden Strömung und den Wellen, die durch eine getauchte oder teilgetauchte Struktur Veränderung erfährt. Zunächst soll an dieser Stelle eine Darstellung der aus der Literatur bekannten Abhängigkeiten gegeben werden, die zu dem gestellten Aufgabenumfang hinführt.

Deformation von AKK infolge von Wellen- und Strömungsbelastung

Untersuchungen zur Deformation von AKK infolge von Wellen- und Strömungsbelastungen erfordern die Erfassung der angreifenden Kräfte in allen drei Raumrichtungen sofern sich das Problem nicht auf einen zweidimensionalen Fall reduzieren lässt. Dreidimensionale Ergebnisse zu dieser Problemstellung, die auf die Analyse von zylinderförmigen Wellenbrechern fokussieren, stammen aus dem Jahr 1994 (Darwiche, Williams, und Wang 1994a). Dabei untersuchen die Autoren die Interaktion von linearen Oberflächenwellen mit einem halb-porösen zylinderförmigen Wellenbrecher, der um einen undurchlässigen kreisförmigen Zylinder herum angeordnet ist. Der halb poröse Zylinder ist im oberen Bereich durchlässig und im unteren Bereich undurchlässig ausgebildet. Eine schematische Darstellung ist Abb. 39 zu entnehmen.

Unter der Annahme einer Potentialströmung mit linearisierten Randbedingungen werden analytische Ausdrücke für die Wellenbewegung in den inneren und äußeren Strömungsregionen ermittelt. Es stellt sich dabei heraus, dass sich die hydrodynamischen Kräfte auf den inneren Zylinder als auch die Wellenamplituden auf der wellenabgewandten Seite vergrößern, wenn sich die poröse Fläche des äußeren Zylinders vergrößert. Für den äußeren Zylinder wiederum verkleinern sich die Wellenkräfte in diesem Fall. Weiterhin vergrößern sich die Kräfte auf den inneren und äußeren Zylinder, wenn sich die Radien des inneren und äußeren Zylinders vergrößern (Darwiche, Williams, und Wang 1994a).

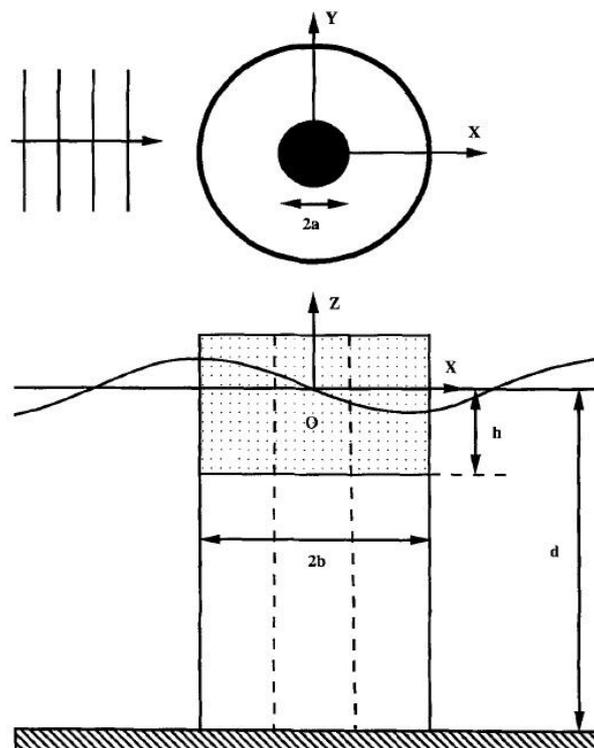


Abb. 39: Schematische Darstellung des von (Darwiche, Williams, und Wang 1994b) untersuchten Zylinders zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit von porösen Zylindern als Wellenbrecher

Lader, Fredheim, und Lien (2001) entwickelten ein numerisches Modell eines dreidimensionalen Netzkäfigs, welcher Wellen und Strömungen ausgesetzt ist. Durch Unterteilung des Netzes in ebene, flexible Netzelemente konnten die strukturellen und hydrodynamischen Kräfte jedes einzelnen Elements berechnet werden. Dabei wurden die Koeffizienten für den Auftrieb und den Widerstand

aus einer auf empirischen Daten beruhenden analytischen Formulierung bestimmt. Dem Netz ist eine vollständige dreidimensionale Bewegung erlaubt, jedes Netzelement selber bleibt dabei aber eben. Die Bewegung des Netzes wurde schließlich durch zeitliche Integration mit dem Runge-Kutta-Verfahren nach 4. Ordnung berechnet. Bei den Untersuchungen wurde festgestellt, dass sich die Amplitude der Dämpfungskraft bei vergrößerter Strömungsgeschwindigkeit vergrößert. Da die Dämpfungskraft eine Kombination aus der Kraft und dem Winkel zwischen der Kraft und der horizontalen Ebene darstellt, führt die Vergrößerung der Dämpfungsamplitude nicht zwangsläufig zu einer Vergrößerung der Elementkraft, sondern vielmehr zu einer Verkleinerung des Winkels. Dieser Winkel verkleinert sich aufgrund der Vergrößerung der Strömungsgeschwindigkeit, welche eine größere Deformation des Netzes in Strömungsrichtung erzwingt. Die Amplitude der Elementkraft verkleinert sich im Gegensatz zur Dämpfungskraft bei größer werdender Strömungskraft. Zusätzlich wurde festgestellt, dass die Amplitude der Dämpfungskraft für quasi statische Modelle größer ist als für dynamische. Diese Tendenz verstärkt sich noch bei größer werdender Strömungsgeschwindigkeit (Lader, Fredheim, und Lien 2001).

In den weiterführenden Untersuchungen von (Lader u. a. 2003) wurde wieder ein dynamisches, dreidimensionales, zylinderförmiges Modell einer Netzstruktur unter Wellen- und Strömungsbelastung untersucht. Die hydrodynamischen und strukturellen Kräfte, die auf die Netzstruktur wirken, wurden in jedem Knoten berechnet. Dabei wurden die hydrodynamischen Kräfte unter der Annahme, dass der Strömungswiderstand die dominierende Größe ist, berechnet. Die strukturellen Kräfte wurden mit der Annahme, dass jedes Element aus nichtlinearen Federn besteht, welche jeden Knoten mit den anderen drei verbindet, bestimmt. Das Modell wurde teilweise mit Hilfe von Ergebnissen von experimentellen Messungen validiert. Es wurde festgestellt, dass der Käfig große Deformationen aufgrund der Strömungs- und Wellenkraft erfahren kann. Die hydroelastischen Effekte bedingen somit die Relevanz von weiterführenden Untersuchungen zu den durch Wellen induzierten Verformungen eines Käfigs und sollten beim Entwurf von Fischkäfigen beachtet werden.

Bei den Messungen von Lader und Enerhaug (2005) wurde ein flexibles kreisförmiges Netz mit verschiedenen Gewichten am Boden eines Wellenkanals befestigt. Dabei wurden die Kräfte und die Deformationen des Fischkäfigs bei gleichförmigen Strömungen mit verschiedenen Geschwindigkeiten gemessen sowie die Ergebnisse mit denen von empirischen Formeln zum Dämpfungsverhalten und der Auftriebskraft verglichen. Es wurde herausgefunden, dass die einwirkenden Kräfte und die Deformationen der flexiblen Netzstruktur stark voneinander abhängig sind und dass sich die Strömungsgeschwindigkeit bei Durchlaufen der Netzstruktur um bis zu 20 % reduziert. Da die Ergebnisse der Formeln allerdings stark von den Ergebnissen aus den Modellversuchen abweichen, ergab sich die Notwendigkeit weiterer Versuche zu dieser Thematik. Zur genaueren Schätzung der Kräfte auf eine flexible Netzstruktur besteht zum einen die Möglichkeit der Berechnung mittels numerischer Modelle unter Berücksichtigung der Abhängigkeit zwischen Kraft und Verformung oder zum anderen die Ausweitung von physikalischen Modellversuchen in Längenskalen, die zur Bestimmung der Unbekannten geeignet sind.

Hellström, Frishfelds, und Lundström (2010) beschäftigten sich in der Folge genauer mit der strömungsinduzierten Deformation von porösen Medien. Dabei wurde für eine zweidimensionale Fragestellung die vollständige NAVIER-STOKES-Gleichung gelöst. Die Basisparameter, die die Strömung charakterisieren, werden dabei als Funktion der geometrischen Parameter angenähert. Die Strömung wird vereinfachend als laminar angenommen, sodass der aufgebrachte Druckgradient als auch die REYNOLDS-Zahl als klein angenommen werden können. Es stellt sich dabei heraus, dass je kompakter das System ist, desto größer die Möglichkeit ist, dass relative Wechsel der Durchlässigkeiten auftreten. Insbesondere bei kompakten Systemen mit hohen Strömungsraten und ausgeglichenen Partikeln erhöht sich im Normalfall die Durchlässigkeit. Trotzdem tritt bei außergewöhnlichen oder besonders kleinen Systemen in seltenen Fällen auch eine Verringerung der Durchflussrate auf. Bei den Untersuchungen wurde allerdings nur von voll elastischen Verformungen

ausgegangen. Plastische Verformungen wurden nicht betrachtet (Hellström, Frishfelds, und Lundström 2010).

Veränderung des Strömungsverhaltens beim Durchlaufen des Käfigs

Reynolds (1969) entwickelte in seinen Untersuchungen ein mathematisches Modell, um die Ablenkung einer durch ein ebenes Netz fließenden Strömung vorhersagen zu können. Dabei wurden erstmals auch die Schwankungen der Geschwindigkeit in der abgelenkten Strömung berücksichtigt. Der Zusammenhang zwischen dem Winkel der Strömung am Netz und dem Winkel der Strömung weit ober- oder unterstrom wurde mit zwei Gesetzen abhängig von der Netzdichtigkeit s beschrieben. Diese beschreibt das Verhältnis der projizierten Fläche der Drähte des Netzes zu der Gesamtfläche. Für kleine Verhältnisse bzw. Verbauungsgrade ($s \leq 0,5$) kann folgender Ansatz gewählt werden:

$$\phi' = \frac{1}{2}(\theta + \phi) \quad \text{Gl. 1}$$

Da für größere Dichtigkeiten ($s > 0,5$) die Strömung nach Durchlaufen eines Netzes allerdings unabhängig vom Anströmwinkel immer nahezu normal zur Netzstruktur erscheint, gilt für größere Dichtigkeiten die Gl. 2 (Reynolds 1969).

$$\phi' = \phi \quad \text{Gl. 2}$$

- mit:
- θ = Winkel der einfallenden Strömung zur Normalen
- ϕ = Winkel der Strömung beim Verlassen des Netzes zur Normalen
- ϕ' = Winkel der mittleren Geschwindigkeit in der Ebene des Netzes zur Normalen

Mit diesen theoretischen Annahmen lassen sich Vorhersagen treffen, die meistens nicht mehr als 10 % von den gemessenen Werten abweichen. Die Abhängigkeit der Winkel voneinander ist vergleichbar, nur bei senkrechter Anströmrichtung werden zu hohe Ausschläge vorhergesagt.

Zhan u. a. (2006) untersuchte den Effekt der Reynolds-Zahl bei von Zugkraft belasteten Fischkäfigen. Die Reynolds-Zahl beschreibt das Verhältnis der Trägheitskraft zur viskosen Kraft und ist immer dann von entscheidender Bedeutung, wenn viskose Kräfte die Strömung dominieren. Sie ist nach Gl. 3 wie folgt definiert (Hughes, 1993):

$$Re = \frac{\text{Trägheitskraft}}{\text{Viskoser Kraft}} = \frac{\rho L^2 v^2}{\mu \nu L} = \frac{\rho L v}{\mu} \quad \text{Gl. 3}$$

Durch umfangreiche Untersuchungen von Zhan u. a. (2006) stellt sich heraus, dass der Strömungswiderstand nicht nur von der Reynolds-Zahl abhängt, sondern auch von der Netzdichte. So vergrößert sich der Strömungswiderstand beispielsweise bei minimal kleiner werdenden Durchlässigkeiten und konstant bleibender Reynolds-Zahl bereits stark. Weiterhin wurden die innerhalb der zylindrischen Netzstruktur entstehenden Energieverluste untersucht. Es wird vermutet, dass sich die Strömungsgeschwindigkeit nach Durchschreiten der Vorderseite des Käfigs auf nur noch rd. 70 % der ursprünglichen Geschwindigkeit reduziert, sodass der hintere Teil des Zylinders kleineren Strömungsgeschwindigkeiten ausgesetzt ist. Aufgrund dieses Netz-Effektes ist der Strömungswiderstand eines Netzes größer als der für einen geschlossenen Zylinder. Er vermindert sich mit der REYNOLDS-Zahl und vergrößert sich mit der Dichte s des Netzes (Zhan et al., 2006).

Lader u. a. (2007) untersucht schließlich die Interaktion zwischen Wellen und flexiblen Netzstrukturen. Hierzu dienen physikalische Modellversuche im Wellenkanal der Universität in Oslo, Norwegen, in denen verschiedene regelmäßige Wellen beim Durchlaufen von Netzstrukturen verschiedener Festigkeiten betrachtet werden. Abb. 40 zeigt den für die Messungen verwendeten Versuchsaufbau schematisch. Die untersuchten regelmäßigen Wellen wurden so gewählt, dass drei Wellen über die gleiche Steilheit, aber unterschiedliche Wellenlängen und -höhen verfügen, und dass drei Wellen die gleiche Frequenz, aber unterschiedliche Steilheiten aufweisen. Um das Verhalten

dieser Wellen bei unterschiedlichen Netzstrukturen einschätzen zu können, wurden insgesamt drei verschiedene Netzblätter betrachtet.

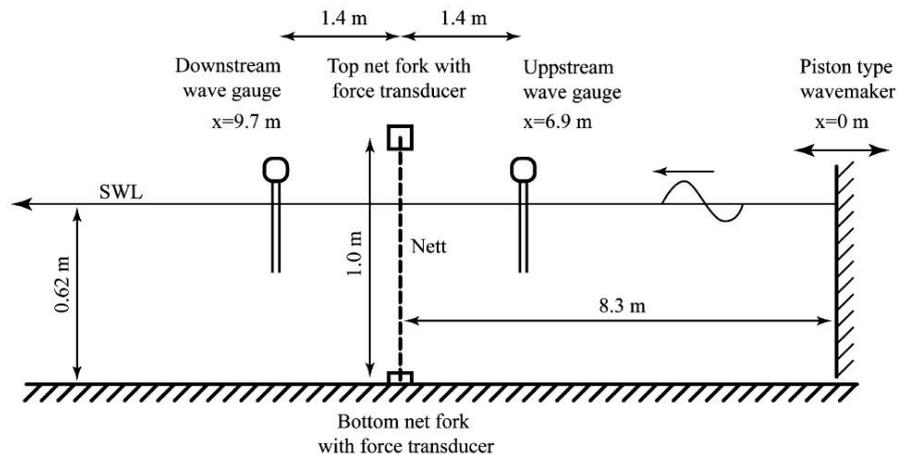


Abb. 40: Darstellung des schematischen Aufbaus der durchgeführten Versuche zur Bestimmung der Interaktion zwischen Wellen und flexiblen Netzen

Um zu bestimmen, inwiefern sich die Wellenform beim Durchlaufen des Käfigs ändert, ist die Wellengeometrie auf beiden Seiten der Netzstruktur gemessen worden. Weiterhin sind die Übertragung der Dämpfungswirkung auf die nachfolgende Welle sowie die Charakteristika wie Wellensteilheit und Asymmetrie untersucht worden. Es zeigt sich dabei, dass das Netz sowohl ober- als auch unterstrom einen Einfluss auf die Wellenform hat, dieser aber für längere Wellen und kleinere Wellensteilheiten wesentlich geringer ist als für kurze Wellen. Oberstrom ist eine Vergrößerung der Wellenhöhe und Wellensteilheit messbar. Dieses ist insbesondere damit zu begründen, dass Teile der Welle durch das Netz reflektiert werden und sich so mit der ankommenden Welle überlagern. Nach Durchlaufen des Netzes verringert sich die Wellensteilheit, wie auch die horizontale Asymmetrie, die vertikale Asymmetrie vergrößert sich aber. Die Verringerung der Wellensteilheit und der horizontalen Asymmetrie kann damit begründet werden, dass dadurch, dass vor dem Netz die Welle teilweise reflektiert wird, die Welle hinter dem Netz weniger Wellenenergie aufweist, welches zu einer Verringerung der Wellensteilheit und Asymmetrie führt. Die Vergrößerung der vertikalen Asymmetrie der Welle resultiert aus der stärkeren Verringerung der Wellensteilheit im hinteren Teil der Welle als an der Vorderseite, sodass eine Verkipfung nach vorne entsteht und sich so die Welle in vertikaler Richtung vergrößert. Der Wechsel der Wellengeometrie hat aber nicht unbedingt etwas mit einer höheren Netzdichte zu tun. Für lange Wellen ist die Dämpfungswirkung der Wellenenergie bei Netzen mit hoher Dichte zwar wie erwartet am Größten, bei kurzen Wellen ist dies allerdings nicht unbedingt der Fall. So ist beispielsweise die Erhöhung vor dem Netz für kleine Dichten am Größten. Die Änderung ist anscheinend in diesem Fall invers abhängig von der Netzdichte. Es wird vermutet, dass für kürzere Wellenlängen die Dämpfungswirkung mit der Stablänge korreliert (Lader u. a. 2007).

Moe, Fredheim, und Hopperstad (2010) ist es schließlich gelungen eine Methode zur strukturellen Analyse von Aquakulturnetzkäfigen zu entwickeln und für eine Netzdichte von 0,23, eine Strömungsgeschwindigkeit von 0,1 bis 0,5 m/s und verhältnismäßig große Deformationen (Volumenreduktion bis zu 70 %) zu verifizieren. Das Modell wurde durch den Vergleich der Ergebnisse mit denen von physikalischen Modellversuchen validiert, um anschließend die Methode zur Untersuchung von Verformungen und Belastungen von Netzkäfigen anzuwenden. Dabei wurde festgestellt, dass die Strömungsgeschwindigkeit über die Tiefe nicht konstant ist. Der Netzkäfig wurde rd. 0,90 m unter der Wasseroberfläche platziert und die Geschwindigkeit wurde in drei unterschiedlichen Ebenen gemessen. Rd. 0,25 m über dem Käfig betrug die Geschwindigkeit 0,38 m/s, während sich diese 0,5 und 1,0 m weiter unten bereits um fast 8 % und 11 % reduziert hatte (vgl. Abb. 41).

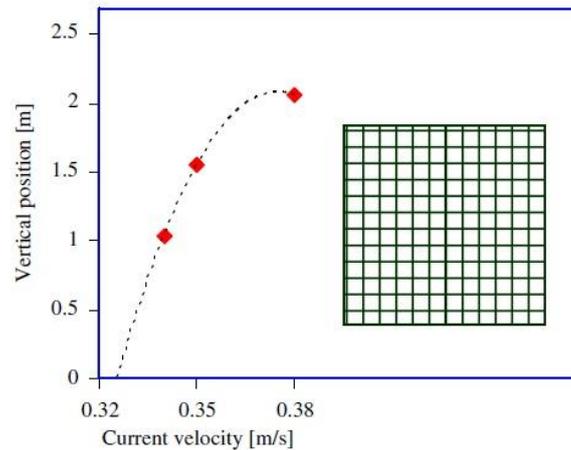


Abb. 41: Messung der horizontalen Strömungsgeschwindigkeiten in drei Punkten über die Kanaltiefe nach (Moe, Fredheim, und Hopperstad 2010)

Weiterhin wurde eine Spannungsanalyse durchgeführt, um die Verteilung der Beanspruchung auf den Käfig aufgrund der Strömung, der Schwerkraft und des Gewichtes zu ermitteln. Die resultierenden Zugkräfte und das Käfigvolumen erwiesen sich abhängig von der Netzkäfiggröße und des Gewichtes. Die Zugkräfte vergrößern sich nahezu proportional zu der Strömungsgeschwindigkeit bei Geschwindigkeiten zwischen 0,2 bis 0,5 m/s, während sich das Käfigvolumen aufgrund von Kompressionskräften proportional zu der Strömungsgeschwindigkeit reduziert. Die errechneten Kräfte für die Fäden und die Netze von Netzkäfigen waren deutlich unter dem Grenzwert für Strömungsgeschwindigkeiten bis zu 0,5 m/s. Im unteren Bereich des Netzes wurde allerdings eine mögliche Schwachstelle festgestellt. Die auftretenden Kräfte nähern sich hier einem Grenzwert (Moe, Fredheim, und Hopperstad 2010).

Maßstabseffekte

Neben der Beurteilung der technischen Aspekte wie die Veränderung in Wellenhöhen oder Strömungsgeschwindigkeiten sind neben den biologischen, ökonomischen und soziologischen Aspekten für eine zukunftsweisende Nutzung von Synergien zwischen OWEAs und AKKs im Wesentlichen die aus der Zweitnutzung herrührenden Belastungen zu analysieren.

Im Vergleich zur ausschließlichen Nutzung vorhandener Gründungsstrukturen als Tragwerk zur Aufnahme der Windenergieanlagen resultieren Zusatzlasten aus dem Lastabtrag der AKK sowie einer möglichen Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeiten im Nahfeld der Gründungsstrukturen, die durch Tideströmung und Wellenangriff bedingt sind.

Des Weiteren eröffnet sich die Frage, ob aus AKKs erhöhte Tendenzen zur Kolkbildung zu erwarten sind. Experimentelle kleinmaßstäbliche hydraulische Modellversuche ermöglichen in diesem Zusammenhang die qualitative Analyse und Beantwortung dieser Fragestellungen. Die Beeinflussung des Strömungsfeldes im Nahfeld der Gründungsstrukturen infolge von netz- und käfigartigen Strukturen führt zu Last- oder Volumenveränderungen auf und an der Struktur.

Frühe theoretische und experimentelle Untersuchungen zu Strömungskräften auf einzelne, schwimmende Netzkäfige und Käfiggruppen finden sich in (LØLAND 1993), der Empfehlungen zur Konstruktion von derartigen Käfigen mit Optimierung in Hinblick auf die Volumenänderung, die Verteilung der Sauerstoffsättigung und mögliche Abschirmeffekte bei Käfiggruppen gibt.

In der weiteren Folge sind Versuche unternommen worden, das Verhalten von Netzen unter dem Einfluss von Wellen und Strömungen numerisch zu untersuchen (vergl. z.B. (LE BRIS und MARICHAL 1998; Lader, Fredheim, und Lien 2001). Aufgrund der komplexen Strömungsvorgänge wird jedoch immer wieder darauf hingewiesen, dass hydraulische Modelluntersuchungen unabdingbar sind, um eine größtmögliche Informationsdichte über die Interaktion zwischen dem verformbaren Käfig- oder Netzkörper und der Fluidbewegung zu erhalten. Hieraus entwickelten sich numerische

Berechnungswerkzeuge, die geeignet sind, an gemessenen Versuchsdaten kalibrieren werden zu können (z.B. (Zhan u. a. 2006a)).

Mit experimentellen Untersuchungen lassen sich für unterschiedliche Netzmaterialien ebenfalls Strömungswiderstandsbeiwerte bestimmen, die für weitere analytische abschätzende Verfahren verwendet werden können. FREDRIKSON u. a. (2005) führen diese Art von Untersuchungen an Fischaufzuchtanlagen und der Kräfteentwicklung der Verankerungssysteme unter Sturmereignissen wiederum mit numerischen Untersuchungen und in-situ Messungen fort. Eine wesentliche Erkenntnis dabei ist, dass für die konstruktive Auslegung solcher Anlagen im offenen Ozean sowohl wellen- als auch strömungsinduzierte Lasten Eingang finden müssen, und dass insbesondere nicht-lineare Anteile eine nicht zu vernachlässigende Rolle dabei spielen.

Hierbei erfordern experimentelle Untersuchungen in der Regel die maßstäbliche Verkleinerung des Untersuchungsgegenstandes. Die hydraulische Modellierung von Wellen und Strömungen verlangt die Anwendung der Froude'schen Modellgesetze. Aus der derzeitigen Literatur wird allerdings nicht vollständig klar, inwiefern Maßstabseffekte des Modells sich auf das hydraulische Verhalten der eingesetzten Netzmaterialien unter der Maßgabe von Strömungen und Wellen auswirken. In erster Näherung können netzartige Strukturen als Rechen mit vertikal-verlaufenden Stäben idealisiert werden. Untersuchungen in Druckrohrströmungen finden sich in ARMOUR und CANNON (1968). Ein genereller Überblick über die ingenieurmäßige Anwendung von Rechen in Freispiegelabflüssen und deren Auswirkungen auf das nachgelagerte Geschwindigkeitsprofil und die Turbulenzentwicklung wird in LAWS und LIVESEY (1978) dargestellt. Generell muss beurteilt werden, ob die zu idealisierenden Fischaufzuchtkäfige so tief getaucht sind, dass zum einen der Wellenangriff vernachlässigbar ist und zum anderen, ob eher von einer Druckrohrströmung oder von einer Freispiegelströmung auszugehen ist.

Beurteilung und Motivation der Untersuchungen

Aus der Durchsicht von in der Literatur gegebenen Erkenntnissen erschließen sich zunächst das Verständnis für Einzelfragestellungen im Zusammenhang mit der Interaktion von AKK und Wellen oder Strömungen. Es bleibt jedoch unklar, inwieweit das Einzelverständnis auf das komplexe System Aquakulturkäfig – Netz – Offshore Windenergieanlagen Gründung – Wellenlast – Strömung anzuwenden ist. Es ist daher sinnvoll, zunächst in Form von Grundlagenuntersuchungen den Einfluss des Längenmaßstabes auf die Modellergebnisse zu untersuchen und abzuklären, welche Fehler sich bei der maßstäblichen Verkleinerung der gewünschten Struktur ergeben könnten. In weiteren Versuchen soll dann untersucht werden, welche Kräfte sich infolge von Wellen aus Extremereignissen zusätzlich einstellen, wenn ein AKK an eine OWEA angeschlossen würde.

Der Bericht gliedert sich in die folgenden Abschnitte. Zunächst werden die Voruntersuchungen zur Abschätzung der Maßstabseffekte in Kapitel 7.3.3 erläutert. Anschließend erfolgt eine Darstellung der Laborgegebenheiten und der verwendeten Versuchseinrichtungen in Kapitel 7.3.4 Die Ergebnisse aus den Geschwindigkeits-, Kraft- und Kolkuntersuchungen werden in der Folge in Kapitel 7.3.5 dargestellt und interpretiert.

7.4.3 Voruntersuchungen zu Maßstabseffekten

Maßstabseffekte

Maßstabseffekte im physikalischen Modell treten immer dann ein, wenn bei der maßstäblichen Verkleinerung der Natur nicht alle Einflussgrößen physikalisch hinreichend skaliert werden können. Bei Versuchen mit Sediment tritt das Problem auf, dass der Korndurchmesser nicht einfach skaliert werden kann. Wenn das Sediment in der Natur nicht-kohäsive Eigenschaften aufweist, können durch die maßstäbliche Verkleinerung der Körner kohäsive Sedimente entstehen, welche sich im Versuch deutlich anders verhalten als die Sedimente in der Natur. Eine Möglichkeit Sediment im Modell zu verwenden, ist die Verkleinerung der Dichte des Sediments, so können größere Körnungen verwendet werden. Umrechnungsformeln für Modellsedimente können der Literatur (z.B. (Bolrich

2000b)), entnommen werden. Ein weiteres Problem bei Modellversuchen ist die Skalierbarkeit der Rauheit, denn der Verlustbeiwert λ , welcher die Verlusthöhe des Gerinnes infolge der Reibung an den Wänden charakterisiert, ist abhängig von der Reynoldszahl. Wird der Modellmaßstab verringert, führt das zu kleineren Reynoldszahlen, welche wiederum den Verlustbeiwert λ beeinflussen (Abb. 42).

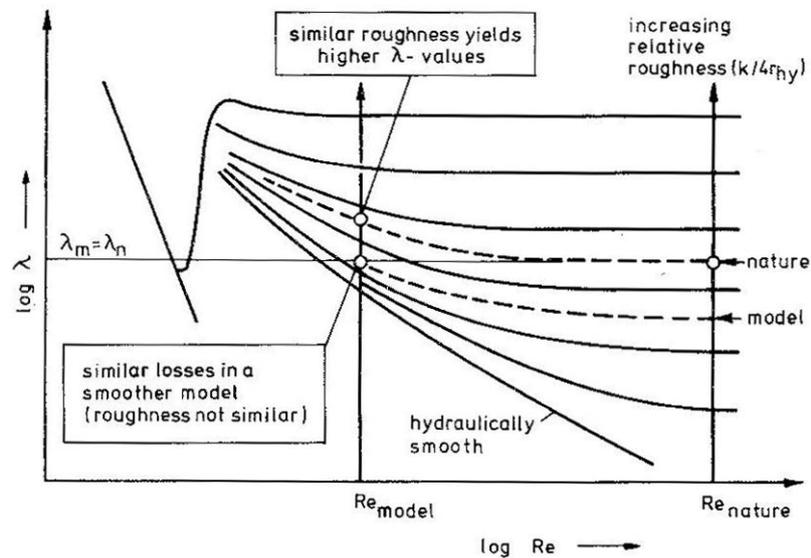


Abb. 42: Verlustbeiwert λ in Abhängigkeit der Reynoldszahl

Wenn bei einem Gerinne im Naturmaßstab schon geringe Rauheiten vorliegen, können diese nicht noch weiter skaliert werden. Das führt dazu, dass die im Modell gemessenen Verluste höher sind. Wenn diese Maßstabeffekte bei der Auswertung nicht berücksichtigt werden, führt das zu einer Überschätzung der in der Natur vorkommenden Verluste und somit zu fehlerhaften Ergebnissen. Um die Abweichungen zwischen Modell und Natur infolge von Maßstabeffekten möglichst gering zu halten, werden von Kobus (1980) minimale Größen der Modellabmessungen empfohlen, welche nicht unterschritten werden sollten. Es müssen in Abhängigkeit der Modellart kleinste Wellenhöhen oder Wassertiefen, welche aus Erfahrungswerten resultieren, bei der Modellkonzeptionierung berücksichtigt werden.

Eine weitere Möglichkeit den Maßstabeffekten entgegenzuwirken, sind verzerrte Modelle. Das sind nicht streng maßstäblich skalierte, sondern in bestimmten Abmessungen unterschiedlich skalierte Modelle. Dieses Modellkonzept wird dann eingesetzt, wenn die streng geometrische Ähnlichkeit zugunsten einer Verbesserung der Bewegungsabläufe aufgegeben wird (Martin und Pohl 2009). So kann zum Beispiel in einem Flächenmodell der Kapillargrenze entgegengewirkt werden, wenn der Wasserstand überhöht skaliert wird.

Da für die durchzuführenden hydraulischen Modellversuche eine exakt maßstäblich verkleinerte AKK-Struktur gewählt wurde, ist zu untersuchen ob und in welchem Maß sich Maßstabeffekte beim Durchströmen der Netze einstellen. Es liegen zahlreiche Untersuchungen zu Netzen und Fischkäfigen unter Strömungs- und Wellenbelastung vor (vgl. (Lader u. a. 2007), (LØLAND 1993), u.a.), diese liefern aber keine Vorschriften zur Skalierung von Netzstrukturen für hydraulische Modellversuche. Daher werden Versuche zum hydraulischen Widerstand von Rechen und Netzen unter Strömungsbelastung durchgeführt. Hierbei werden mehrere maßstäbliche Verkleinerungen desselben Rechens und derselben Netze unter stationären Bedingungen untersucht. Die Messwerte werden anschließend anhand ähnlichkeitsmechanischer Analyse unter Berücksichtigung des Verbauungsgrades des Gesamtquerschnitts beurteilt. Aus diesen Ergebnissen können anschließend die Maßstabeffekte herausgearbeitet werden und eine Abschätzung in Bezug auf die Skalierung der Gitter-/Netzstruktur des Käfigs erfolgen.

Grundlagen zum Strömungswiderstand von Rechen und Netzen

Rechen

Zur Berechnung der Verlusthöhe, welche durch einen durchströmten Rechen entsteht, gibt es verschiedene Formeln in der Literatur. Eine einfache Formel zur ersten Abschätzung Bollrich (2000b) lautet:

$$h_R = \zeta * \frac{v^2}{2 * g} \quad \text{Gl. 4}$$

Diese Formel stellt den allgemeinen Verlustansatz bei Änderungen eines durchströmten Querschnitts dar. Der Verlustbeiwert ζ wird hierbei wie folgt berechnet:

$$\zeta = \beta * \left(\frac{d}{a}\right)^{4/3} * \sin \alpha \quad [m] \quad \text{Gl. 5-1}$$

- mit:
- d Stabdicke
- a lichter Stababstand
- α Neigung des Rechens gegen die Strömungsrichtung
- β Formbeiwert der Rechenstäbe

Der Formbeiwert β ist von Kirschmer (1925) experimentell ermittelt worden und ist abhängig von der Rechenstabsform. Abbildung 43 gibt einen Überblick über die Beiwerte verschiedener Formen. Die im folgenden Kapitel dargestellten Versuche werden mit runden Rechenstäben durchgeführt, somit ist der Formbeiwert zur Berechnung der Rechenverlusthöhe $\beta=1,79$.

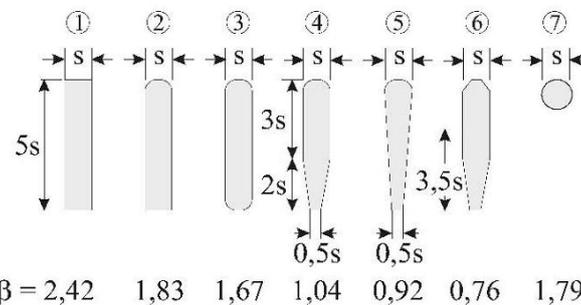


Abb. 43: Formbeiwerte β für Rechenstäbe nach (Bollrich 2000b)

Die Geschwindigkeit v ist die Anströmgeschwindigkeit zum Rechen, welche aus $v=Q/A$ mit A als Projektion der Rechenfläche in die Anströmrichtung erhalten wird. Die mögliche Versetzung des Rechens durch z.B. Treibgut, welche einen erhöhten Rechenverlust hervorruft, wird mit einem pauschalen Wert für selten bzw. oft gereinigte Rechen in Höhe von 0,1 m bzw. 0,05 m angesetzt (Bollrich 2000b). Für die vorliegende Arbeit kann dieser Ansatz vernachlässigt werden, da Laborversuche ohne eine Versetzung des Rechens durchgeführt werden.

Eine neue empirische Formel für die Berechnung des Rechenverlustes wurde von Gieseke und Mosonyi (2005) entwickelt, da die bisherigen Formeln den Rechenverlust meist bedeutend unterschätzten. Diese neue Formel lautet:

$$h_{v,re} = \beta * \left(\frac{P_{re}}{1-P_{re}}\right)^{1,5} * \left(1 - \frac{\delta}{90^\circ}\right) * P_{re}^{(1,4 * \tan \delta)} * k_{V,i} * \sin \alpha * \frac{v_1^2}{2 * g} \quad [m] \quad \text{Gl. 6}$$

- mit:
- P_{re} Verbauungsgrad
- β Formbeiwert des Rechenstabes

- δ Anströmwinkel
- α Neigungswinkel der Rechenstäbe
- v_1 Geschwindigkeit vor dem Rechen
- $k_{V,i}$ Verlegungsfaktor

Im Gegensatz zu der einfacheren Formel nach (Bollrich 2000b) wird hier der Verbauungsgrad der durchströmten Querschnittsfläche P_{re} berücksichtigt. Dieser errechnet sich wie folgt:

$$P_{re} = (A_{VS} + A_{VA})/A_{RE} \quad \text{Gl. 7}$$

- mit:
- A_{VS} Verbauungsfläche der Rechenstäbe
- A_{VA} Verbauungsfläche der Abstandshalter, Rechenträger
- A_{RE} Rechenfeldfläche (Bruttofläche)

Die Geometrie, sowie die Definition der Winkel können der Abb. 44 entnommen werden.

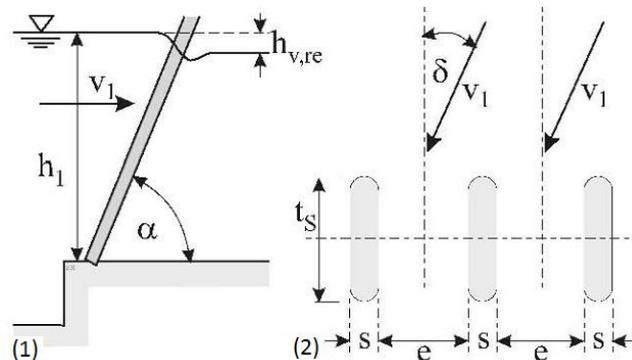


Abb. 44: Definitionsskizze zur Verlustberechnung (1) Seitenansicht (2) Draufsicht (Giesecke und Mosonyi 2005)

Der Verlegungsgrad wird in Abhängigkeit der Rechenbauweise mit Hilfe der zwei folgenden Formeln berechnet.

$$k_{V,1} = 1 + 5,2 * P_{re}^{-1,5} * \left(\frac{v_{re}}{1-v_{re}}\right)^2 \quad \text{Gl. 8}$$

$$k_{V,2} = 1 + 1,8 * P_{re}^{-1,2} * \left(\frac{v_{re}}{1-v_{re}}\right)^{1,2} \quad \text{Gl. 9}$$

Die Einteilung der Rechen in die zwei Gruppen ist in Abb. 45 dargestellt. Die Autoren merken darüber hinaus an, dass die Formel eigentlich nur für rechteckige Stabquerschnitte zu verwenden ist. Untersuchungen hierzu ergaben aber, dass die Ergebnisse der Rechenverlustberechnung durchaus für andere Stabtypen verwendbar sind, solange der Verbauungsgrad im Bereich von $P_{re} = 0,19 - 0,55$ liegt, das Verhältnis $0,70 < t_s/e < 10$ beträgt und $\delta < 45^\circ$ (Giesecke, et al., 2005). Hierbei ist t_s die Stabtiefe und e der lichte Stababstand.

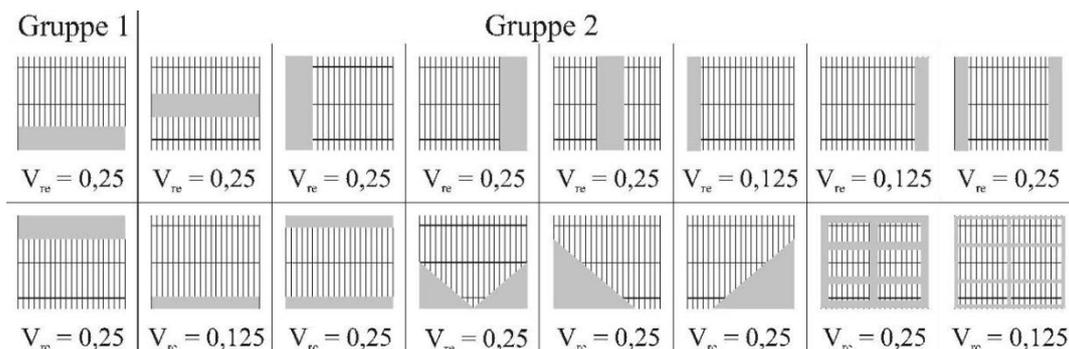


Abb. 45: Gruppeneinteilung für Verlegungsarten und -grade von Rechen (Giesecke und Mosonyi 2005)

Der durch diese Formeln ermittelte Rechenverlust ist der Verlust an Druckhöhe, also eine Verringerung der Wassertiefe im Unterwasser gegenüber dem Oberwasser. Er setzt sich aus drei Teilverlusten zusammen, dem Verlust durch Kontraktion beim Eintritt in den Rechen, dem Verlust aus Oberflächenreibung an den Stäben und dem Mischverlust hinter dem Rechen (Kirschmer 1925). Diese Versuche ergeben, dass die Oberflächenreibung an den Stäben vernachlässigbar klein ist, solange die Stablänge $l < 1$ m ist. Darüber hinaus weist Kirschmer (1925) darauf hin, dass der Rechen das Ober- und Unterwasser beeinflusst, so dass ein Störungsbereich entsteht (vgl. auch Abb. 46).

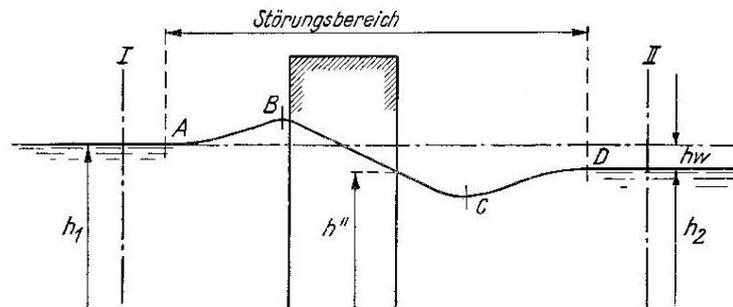


Abb. 46: Störungsbereich des Ober- und Unterwasserspiegels (Kirschmer 1925)

Der Rechenverlust ist nun die Differenz zwischen dem Wasserspiegel vor Punkt A und nach Punkt D. Die Differenz zwischen dem höchsten Staupunkt B und der tiefsten Senke C ist nur ein „scheinbarer Rechenverlust“, der den wirklichen Verlust um ein vielfaches übertrifft (Kirschmer 1925).

Netze

Einen generellen Überblick über die Eigenschaften von Netzen in Strömungen geben Laws und Livesey (1978). Ein Netz wird in dieser Arbeit als verteilter Widerstand im Strömungsquerschnitt betrachtet, welcher die Strömung ablenkt und einen Druckverlust verursacht. Dieser Druckverlust macht sich in einer Differenz des Wasserspiegels vor und hinter dem durchströmten Netz bemerkbar. In den meisten vorherigen Arbeiten werden Netze als finite Unstetigkeit in der Strömung betrachtet. Diese Annahme ist allerdings eine starke Vereinfachung der komplexen Abläufe beim Durchströmen von Netzen, sie wird dennoch zunächst adaptiert.

Laws und Livesey (1978) stellen fest, dass die Zugkraft, die auf ein Netz wirkt, ausschließlich durch den durch jede einzelne Öffnung erzeugten Druckverlust bedingt ist. Bei der Betrachtung eines einzelnen Netzelementes kann ein dimensionsloser Zugkraft-Beiwert c_D (drag coefficient) zu

$$c_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot w^2 \cdot S} \quad \text{Gl. 10}$$

- mit:
- w unbeeinflusste Geschwindigkeit vor dem Netz
- S charakteristische Netzfläche

definiert werden. Die charakteristische Netzfläche S berechnet sich wie folgt:

$$S = (1 - \beta) \cdot l^2 \quad \text{Gl. 11}$$

- mit
- β Porosität
- l Maschenweite

Hierbei berechnet sich die Porosität des Netzes aus dem Fadendurchmesser und der Öffnungsweite zu:

$$\beta = \left(1 - \frac{d}{l}\right)^2 \quad \text{Gl. 12}$$

Werden diese Annahmen nun in Gl. 10 eingesetzt, ergibt sich die vollständige Gleichung des Zugkraft-Beiwertes c_D zu:

$$c_D = \frac{p_2 - p_1}{\frac{1}{2} \rho w^2 (1 - \beta)} \quad \text{Gl. 13}$$

Der Widerstandsbeiwert eines Netzes kann nun wie folgt definiert werden:

$$K_0 = c_D * (1 - \beta) \quad \text{Gl. 14}$$

Dieser Widerstandsbeiwert K_0 ist eine Funktion, welche von der Porosität, der Reynoldszahl und der Machzahl abhängt. Für Versuche mit inkompressiblen Flüssigkeiten, wie zum Beispiel Wasser, ist die Machzahl etwa 0. Auf Grundlage von durchgeführten Messungen kann der Widerstandsbeiwert K_0 für diesen Fall mit

$$K_0 = 0,52 * (1 - \beta^2) / \beta^2 \quad \text{Gl. 15}$$

definiert werden (Laws und Livesey 1978). Weitere Untersuchungen haben eine Abhängigkeit von der Reynoldszahl ergeben. Deshalb wird der Faktor in Gl. 15 durch einen Faktor in Abhängigkeit der Reynoldszahl ersetzt. Dieser kann mit dem Diagramm in Abb. 47 bestimmt werden. Die vollständige Gleichung zur Berechnung des Widerstandsbeiwertes lautet nun:

$$K_0 = A_1(Re) * (1 - \beta^2) / \beta^2 \quad \text{Gl. 16}$$

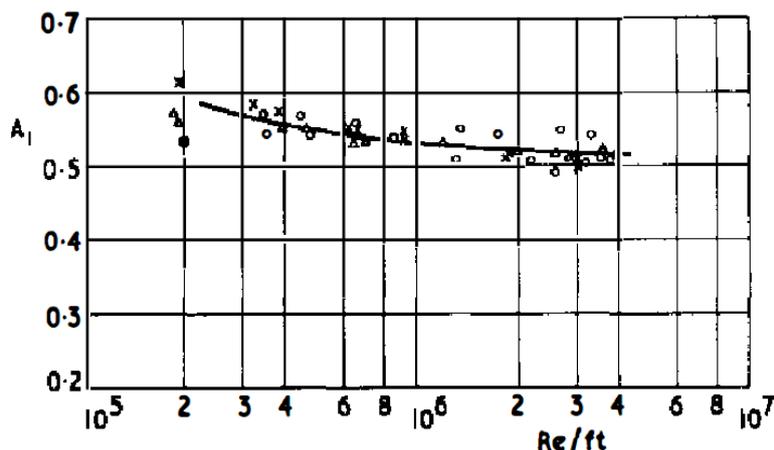


Abb. 47: Faktor $A_1(Re)$ zur Berechnung von K_0 (Laws und Livesey 1978)

Des Weiteren wird in der Arbeit von Laws und Livesey (1978) die Auswirkung von durchströmten Netzen auf die Strömung im Unterwasser betrachtet. Es zeigt sich, dass bei Netzen mit geringer Porosität beträchtliche un stetige Unterschiede zwischen gemessenen und erwarteten Unterwasser-Profilen auftreten. Darüber hinaus werden Netze auf deren Funktion als Turbulenz-Unterdrücker oder Turbulenzerzeuger untersucht. Zur Erzeugung von Turbulenzen eignen sich besonders großmaschige Netze die bei großen Reynoldszahlen durchströmt werden. Für die Unterdrückung der Turbulenzen eignen sich eng gewebte Netze bei kleinen Reynoldszahlen.

Armour und Cannon (1968) untersuchen Netze im Bezug auf ihre Eigenschaften sie als Filter in chemischen Anwendungsbereichen einsetzen zu können. Hierfür wenden sie ein Schütt schichtfilter-Modell auf aus Metall gewebte Netze an. Aus ihren Untersuchungen bestimmen sie einen Reibungsfaktor f_t zu

$$f_t = \frac{8,61}{N_{Re}} + 0,52 \quad \text{Gl. 17}$$

- mit:
- N_{Re} viskoser Widerstand

welcher ein Maß für den Reibungsverlust an Netzen darstellt. Dieser ist direkt abhängig von N_{Re} und somit von der Strömungsgeschwindigkeit, denn N_{Re} ist definiert als:

$$N_{Re} = \frac{\rho * u}{\mu * a^2 * D} \quad \text{Gl. 18}$$

Diese dimensionslose Kennzahl kann als Reynoldszahl der Netze betrachtet werden. Auch in den Untersuchungen von Groth und Johansson (1988) und O'Hern und Torczynski (1992) zeigen sich eindeutige Abhängigkeiten des Strömungsverhaltens der Netze von einer Fadendurchmesser-Reynoldszahl. Das verdeutlicht, dass die Froud'sche Skalierung der Netzgeometrie, welche auf Grund der Nachbildung von Wellen benutzt wird, nicht unbedingt zielführend ist.

Die vereinfachte Betrachtung eines Netzes als Summe aus horizontalen und vertikalen Stäben wird von Loland (1993) in Bezug auf die Geschwindigkeitsverteilung untersucht. Bei dem Vergleich von gemessenen Werten mit den mit diesem Ansatz berechneten Ergebnissen stellt sich heraus, dass dieser Ansatz zumindest für die Wirbelzone im Nahfeld der Netze gute Ergebnisse liefert. Die Geschwindigkeit u wird zu

$$u_1(x, y) = 0,9 * U * \left(\frac{C_D * D}{x}\right)^{1/2} * \exp\left(-\frac{y^2}{0,0888 * C_D * D * x}\right) \quad \text{Gl. 19}$$

berechnet. Hierbei ist D der Durchmesser eines Zylinders und C_D der dem Zylinder zugehörige Zugkraft-Koeffizient. Auch bei diesen Untersuchungen zeigt sich, wie schon bei (Laws und Livesey 1978), dass der Koeffizient C_D von der Porosität des Netzes und der Reynoldszahl des Fadendurchmessers abhängig ist. Darüber hinaus stellt Loland (1993) fest, dass die auf ein Netzelement wirkende Gesamtzugkraft von der Deformation des Netzes abhängig ist. Denn die Deformation der Netzoberfläche hat Auswirkungen auf den lokalen C_D -Wert. Deshalb definiert er die Zugkraft auf ein Netzelement mit der folgenden Gleichung:

$$F_D = \int \frac{1}{2} * \rho * C_D(\alpha) * U^2 dA \quad \text{Gl. 20}$$

Die Definition des Winkels kann der Abb. 48 entnommen werden.

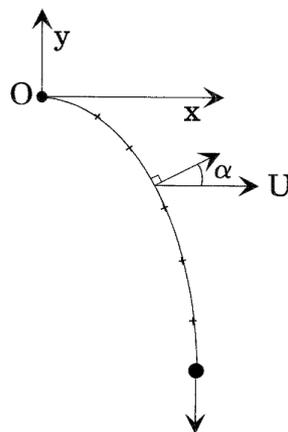


Abb. 48: Verformung eines Netzelementes in gleichförmiger Strömung (Loland 1993)

Dieser Ansatz der verformbaren Netzstruktur wird von Le Bris und Marichal (1998) für die numerische Simulation von Netzen unter Strömungsbelastung aufgegriffen und für jede einzelne Masche eines Netzes diskretisiert.

Weitere Untersuchungen zu Netzen unter gleichförmiger Strömungsbelastung wurden von Zhan u. a. (2006) durchgeführt. Auch diese Untersuchungen zeigen, dass die C_D -Werte von Netzen von der Reynoldszahl und der Porosität abhängen. Ein Vergleich mit Zylindern zeigt darüber hinaus, dass die C_D -Werte sich ähnlich verhalten. Sie nehmen mit steigender Reynoldszahl ab, sind aber bei Netzen aufgrund von Interaktionen zwischen den Fäden größer. Bei weitergehenden Untersuchungen stellen

Zhan u. a. (2006) fest, dass die Formeln zur Berechnung der Krafteinwirkung durch Strömungsbelastungen auf flächige Netze auch für zylindrische Netze verwendet werden kann. Hierbei werden die Kräfte aber leicht überschätzt, denn durch den Energieverlust innerhalb des zylindrischen Netzes wird die hintere Hälfte des Netzes mit einer geringeren Strömungsgeschwindigkeit belastet. Des Weiteren arbeiten Zhan u. a. (2006) heraus, dass die verwendeten Formeln nur für gleichförmige Strömungsbelastungen gültig sind und bei einer instationären Belastung, wie zum Beispiel Wellen, verändert werden müssen. Für die folgende Betrachtung der Verlusthöhen an Netzen sind diese Ansätze ausreichend, da Netze in stationären Strömungen betrachtet werden.

Beschreibung der Versuche und Versuchseinrichtungen

Strömungsrinne

Die Strömungsrinne im Wasserbaulabor am Schneiderberg ist 20 m lang, 1 m breit und kann mit einem Wasserstand von bis zu 1 m betrieben werden. Zur Erzeugung der Strömung kann die Rinne mit einem Durchfluss von bis zu 250 l/s betrieben werden.

Messtechnik

Beschreibung der Versuche und Versuchseinrichtungen

Zur Messung der Durchströmungsverluste wird der Wasserstand vor und hinter dem durchströmten Einbau gemessen. Zur Messung der Wasserstände stehen die von Delft Hydraulics Laboratory entwickelten Waterlevel-Follower (Wafo) zur Verfügung, deren Messsystem Spannungssignale liefert, die proportional zur Wasserspiegelauslenkung sind. Die Messstellen sind, wie in Abb. 49 zu sehen, angeordnet.

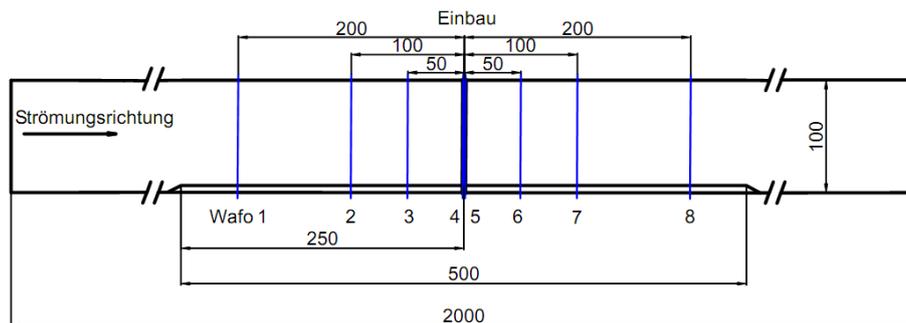


Abb. 49: Messgeräteanordnung in Seitenansicht

Geschwindigkeitsmessungen

Zur Überprüfung der mit Hilfe der Kontinuitätsgleichung berechneten Geschwindigkeiten (aus Durchfluss und Querschnittsabmessungen) wird die Strömungsgeschwindigkeit in einem Querschnitt mit einem Schildknecht Messflügel (Abb. 50) gemessen.

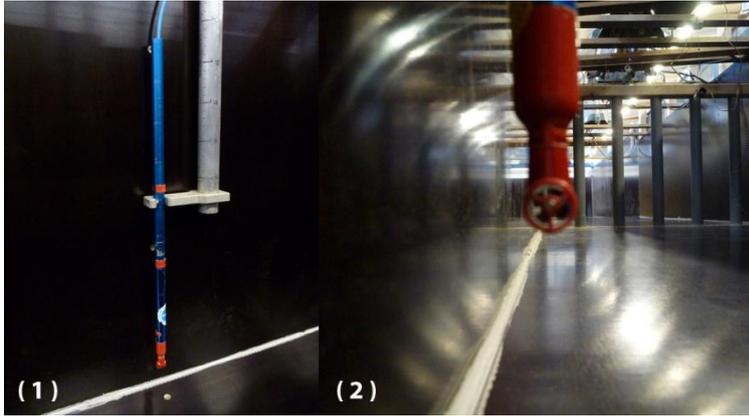


Abb. 50: (1) Messflügel Schildknecht ; (2) Messflügel, Detailansicht

Das vollständige Messraster besteht aus 54 Messpunkten und ist in Abb. 51 dargestellt.

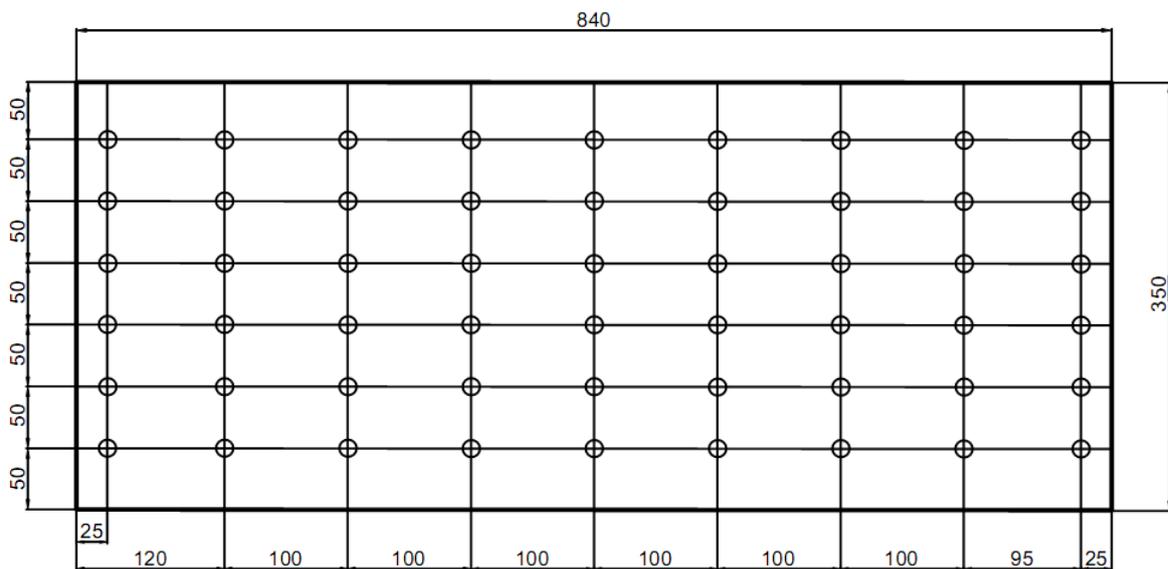


Abb. 51: Raster für Geschwindigkeitsmessung

Randbedingungen der Versuche

Die zu untersuchenden Strömungsgeschwindigkeiten richten sich nach der maximalen horizontalen Geschwindigkeit der häufigen und der maximalen Welle am geplanten Standort Veja Mate. Mit dem in Abb. 68 dargestellten Korrelationsdiagramm der Messreihe im Zeitraum vom 01.01.1958 bis zum 30.11.2005 ergibt sich die signifikante Wellenhöhe H_s und die Peakperiode T_p der häufigen und maximalen Welle durch eine statistische Auswertung, die als gegeben angenommen wird. Die Wellenhöhe und -periode der maximalen Welle beträgt $H_s = 11,0$ m und $T_p = 14,0$ s. Entsprechend ergibt sich für die häufige Welle $H_s = 1,5$ m als Wellenhöhe und $T_p = 6,0$ s als Peakperiode (vgl. Kapitel 7.3.4).

Versuchsaufbau

Die Versuche werden zum einen mit Netzen und zum anderen mit Rechen durchgeführt, da Netze idealisiert als Rechen mit horizontalen und vertikalen Stäben betrachtet werden können. Um in jedem Versuchsmaßstab eine ganzzahlige Anzahl Stäbe untersuchen zu können, muss die Breite der Rinne auf 0,84 m reduziert werden. Damit durch die notwendige Verjüngung relativ wenig Turbulenzen entstehen, wird die Gerinnebreite auf 2,50 m Länge allmählich verringert. Der Messquerschnitt, an dem die verschiedenen Rechen und Netze eingebaut werden, liegt weitere

2,50 m hinter der Verjüngung. Somit ist sichergestellt, dass die Einbauten mit unbeeinflusster laminarer Strömung angeströmt werden und die Versuche reproduzierbar sind.

Untersucht werden Rechen und Netze in verschiedenen Maßstäben. Die Rechenstäbe werden von einer unteren und einer oberen Querstrebe gehalten. Für eine bessere Stabilität werden die Stäbe, je nach Anforderung, durch zwei Gewindestangen an den Enden der Querstreben gespannt oder zusammengedrückt. Abb. 52 zeigt einen Rechen im größten und im kleinsten untersuchten Maßstab.



Abb. 52: Konstruktion der Modelle für (1) Rechen in 1:1 ; (2) Rechen in 1:40 aus einfachen Materialien

Die für die Versuche verwendeten Netze sind aus Polyethylen-Garn geknüpft. Die Netze aller Maßstäbe sind nach dem gleichen Prinzip hergestellt, daher haben sie gleiche Strömungseigenschaften. Um ein Ausbeulen der Netze in der Strömung zu vermeiden, sind sie, wie in Abb. 53 zu sehen, auf einen Holzrahmen gespannt.



Abb. 53: Konstruktion der Modelle für (1) Netz in 1:1 ; (2) Netz in 1:13,3

Die Verjüngung in der Strömungsrinne ist so konstruiert, dass sich die seitlichen Rahmen der Netze, die Gewindestangen der Rechen sowie die unteren Schwellen nicht in der Strömung befinden. Sie liegen hinter der Seitenwand beziehungsweise ersetzen diese. In Abb. 54 ist zu sehen, dass der

Strömungsquerschnitt allein durch die Rechenstäbe und Netze verringert wird und es keinen Einfluss durch die Konstruktion gibt.

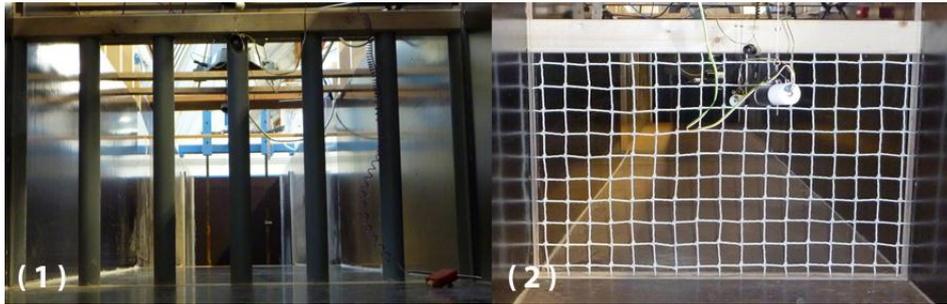


Abb. 54: Einbauzustände von einem Rechen im Maßstab 1:1 (1) sowie einem Netz im Maßstab 1:1 (2)

Der Wasserstand wird mit sieben Wafos gemessen. Die Messebenen der Wafos liegen 1,0 m, 0,5 m und direkt vor dem Einbau, sowie direkt dahinter und im Abstand von 0,5 m, 1,0 m und 2,0 m im Unterwasser.

Versuchsdurchführung

Eine Übersicht der Messungen mit Einbauten können Tab. 36 und Tab. 37 entnommen werden. Die festgelegten Durchflüsse sind für die einzelnen Maßstäbe der Einbauten skaliert. Jeder Einbau wird für alle Durchflüsse bis hin zu dem jeweils maximalen Durchfluss untersucht. Somit kann nicht nur der eine festgelegte Fall (eine skalierte Geschwindigkeit zu einem Maßstab) verglichen werden, sondern auch diverse andere.

Tab. 36: Übersicht der mit Rechen durchgeführten Messungen

Durchfluß [l/s]	Maßstab					
	1 : 1	1 : 2	1 : 5	1 : 10	1 : 20	1 : 40
1	X	X	X	X	X	X
26	X	X	X	X	X	X
36	X	X	X	X	X	X
52	X	X	X	X	X	
73	X	X	X	X		
103	X	X	X			
163	X	X				
226	X					

Tab. 37: Übersicht der mit Netzen durchgeführten Messungen

Durchfluß [l/s]	Maßstab				
	1 : 1	1 : 2	1 : 3,3	1 : 5	1 : 13,3
1	X	X	X	X	X
36	X	X	X	X	X
63	X	X	X	X	X
103	X	X	X	X	
126	X	X	X		
163	X	X			
220	X				

Während der Versuche wird ein stationärer Strömungszustand hergestellt und die Verlusthöhe am durchströmten Rechen bzw. Netz durch Wasserstandsmessungen vor und hinter des Einbaus (Netz / Rechen) ermittelt (vgl. Abb. 55).



Abb. 55: Beispielhafte Darstellung eines Versuchs mit Rechen im Maßstab 1:2 bei geringem Durchfluss

Ergebnisse

Hydraulischer Verlust des Gerinnes

Aus Voruntersuchungen in der Strömungsrinne, ohne Einbau eines Rechens oder Netzes, kann der hydraulische Verlust des Gerinnes bestimmt werden. Dieser stellt sich im Wasserspiegelgefälle dar. Die Untersuchungen ergaben, dass der hydraulische Verlust dh zwischen der ersten und der letzten Messstelle für alle Geschwindigkeiten im Mittel 0,19 mm beträgt. Der hydraulische Verlust zwischen den Wafos 4 und 8 beträgt im Mittel 0,1 mm. Die Wafos haben eine Messgenauigkeit von 0,1 mm. Somit kann der hydraulische Verlust des Gerinnes vernachlässigt werden und wird in die Auswertung nicht mit einbezogen.

Auswertung der Geschwindigkeitsmessungen

Die Auswertung der Geschwindigkeitsmessungen zeigt, dass die Strömungsgeschwindigkeiten im vorher berechneten Bereich liegen. Darüber hinaus zeigen die Messungen, dass ein ungestörtes laminares Strömungsregime vorliegt. Somit werden die untersuchten Netze und Rechen gleichmäßig mit der Strömung belastet, dadurch sind reproduzierbare Messungen möglich.

Übersicht der Messergebnisse

Die an den Rechen gemessenen Verlusthöhen sind in Tab. 38 in Abhängigkeit vom untersuchten Maßstab und der Strömungsgeschwindigkeit in x-Richtung dargestellt.

Tab. 38: Tabellarische Zusammenstellung der Verlusthöhen bei der Durchströmung der verwendeten Rechen in mm

		Strömungsgeschwindigkeit v_x [m/s]							
		0	0,088	0,124	0,176	0,248	0,351	0,555	0,769
Maßstab	1 : 1	0,03	0,20	0,43	0,93	1,92	9,33	23,55	149,63
	1 : 2	0,00	0,24	0,47	1,04	1,70	8,58	29,90	
	1 : 5	0,00	0,28	0,48	1,04	1,97	11,90		
	1 : 10	-0,01	0,28	0,48	0,95	1,91			
	1 : 20	0,01	0,28	0,52	1,02				
	1 : 40	0,00	0,28	0,55					

Die Verlusthöhen, die durch die Netze entstanden sind, können Tab 39 entnommen werden. Die Verlusthöhen sind alle in mm angegeben und in Abhängigkeit der Strömungsgeschwindigkeit v_x und des Netz-Maßstabs dargestellt. Die grafische Darstellung erfolgt in Abb. 56.

Tab 39: Tabellarische Zusammenstellung der Verlusthöhen bei der Durchströmung der verwendeten Netze in mm

		Strömungsgeschwindigkeit v_x [m/s]						
		0	0,124	0,215	0,351	0,43	0,555	0,748
Maßstab	1 : 1	0,01	0,30	0,78	3,66	4,84	13,08	25,74
	1 : 2	-0,04	0,20	0,65	3,88	10,66	14,93	
	1 : 3,3	0,01	0,26	0,71	7,02	11,06		
	1 : 5	0,05	0,39	1,03	6,51			
	1 : 13,3	0,03	0,41	0,83				

Es ist zu erkennen, dass die Verlusthöhe, entsprechend der theoretischen Kenntnisse, in einem quadratischen Zusammenhang mit der Strömungsgeschwindigkeit steht. Die absoluten Werte liegen im unteren Bereich der Strömungsgeschwindigkeit nahe beieinander, im oberen Bereich liegt der Aufstau bei den Rechen mit den kleineren Maßstäben höher als bei dem Rechen im Maßstab 1:1.

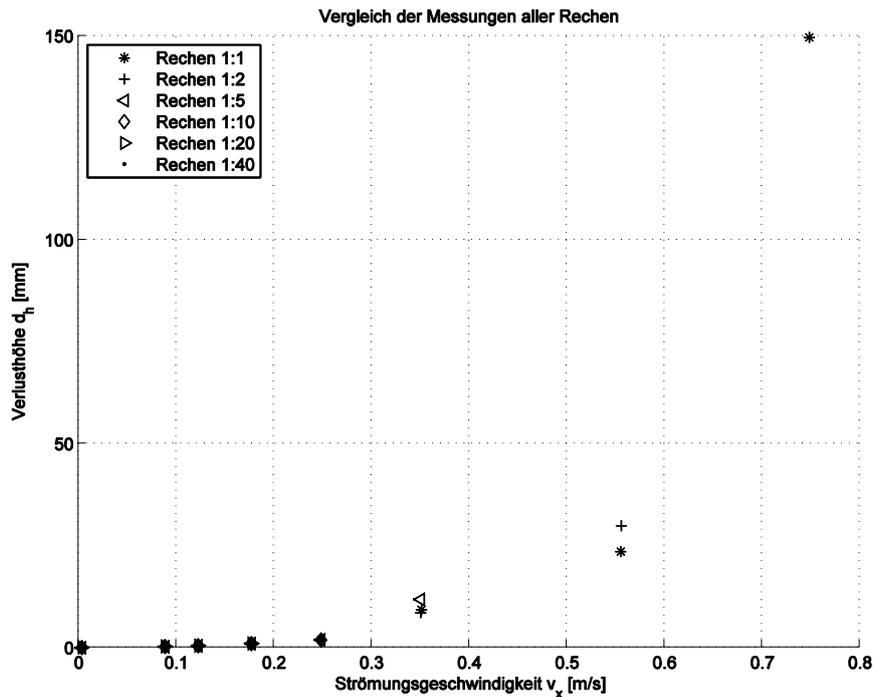


Abb. 56: Graphische Darstellung der Ergebnisse zu den Verlusthöhen bei der Durchströmung von Rechen im hydraulischen Modell

Die grafische Darstellung der Verlusthöhen an den Netzen ist Abbildung 57 dargestellt. Hier zeigt sich ein ähnliches Verhalten wie bei den vorher gezeigten Versuchen mit Rechen. Es gibt einen quadratischen Zusammenhang zwischen Strömungsgeschwindigkeit und Verlusthöhe, die absoluten Werte der Verlusthöhe bei niedrigen Geschwindigkeiten liegen dicht beieinander und weichen im oberen Bereich der Geschwindigkeit so voneinander ab, dass die Versuche mit kleineren Maßstäben größere Verlusthöhen ergeben.

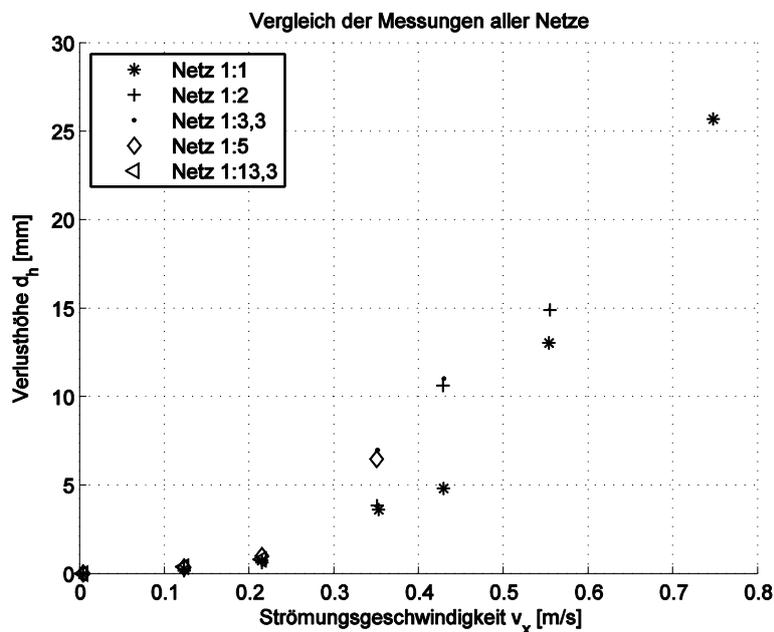


Abb. 57: Graphische Darstellung der Ergebnisse zu den Verlusthöhen bei der Durchströmung von Netzen im hydraulischen Modell

Maßstäblicher Vergleich der Ergebnisse

Für den maßstäblichen Vergleich der Messungen werden in diesem Kapitel die Messwerte der Versuche mit den jeweiligen skalierten Geschwindigkeiten miteinander verglichen. Des Weiteren

werden die Messwerte mit dem jeweiligen Maßstabsfaktor multipliziert. Somit sind alle Messwerte auf den Maßstab 1:1 bezogen und können direkt miteinander verglichen werden.

Tab 40: Skalierte Verlusthöhen an Rechen in mm mit extrapolierten Werten (mit '*' gekennzeichnet)

		Strömungsgeschwindigkeit v_N [m/s]				
		0,176	0,248	0,351	0,555	0,785
Maßstab	1 : 1	0,9253	1,9240	* 4,8014	* 9,4398	* 18,2896
	1 : 2	0,9482	2,0796	* 4,8418	* 9,4894	* 18,3909
	1 : 5	1,3863	2,3927	5,2131	9,8637	* 18,6950
	1 : 10		2,7750	4,7900	9,5478	19,0825
	1 : 20			5,6941	10,4949	20,3942
	1 : 40				11,3742	22,1827

Eine Normierung der Messwerte zum Beispiel mit dem Stabdurchmesser oder der Öffnungsweite des Rechens oder des Garndurchmessers wäre auch denkbar, wird hier aber nicht betrachtet, da die direkte Skalierung mit der Maßstabszahl die Maßstabseffekte deutlicher herausstellt. Anschließend werden lineare Ausgleichsfunktionen durch die einzelnen Versuchsreihen gelegt. Mit Hilfe der linearen Ausgleichsfunktionen können eventuell fehlerhafte Messwerte (Ausreißer aus dem normalen Trend) erkannt und durch lineare Extrapolationen ersetzt werden. Die nun zur Verfügung stehenden Messwerte sind in den folgenden Tab 40 (Rechen) und Tab. 41 (Netze) aufgelistet.

Tab 41: Skalierte Verlusthöhen an Netzen in mm mit extrapolierten Werten (mit '*' gekennzeichnet)

		Strömungsgeschwindigkeit v_N [m/s]		
		0,430	0,555	0,785
Maßstab	1 : 1	4,8439	13,0774	25,7373
	1 : 2	7,7538	21,3181	29,8686
	1 : 3,3	* 11,6327	23,3859	36,8536
	1 : 5	* 16,4835	* 31,5783	* 44,6595

Die grafische Darstellung (Abb. 58) Versuche mit Rechen zeigt einen fast parallelen Verlauf der einzelnen Messreihen. Lediglich bei den kleinsten Geschwindigkeiten weichen die Funktionen von diesem Trend ab, dies ist Messungenauigkeiten geschuldet, da die gemessenen Verlusthöhen bei diesen Geschwindigkeiten sehr gering sind und schon kleine Ungenauigkeiten große Auswirkungen auf die Ergebnisse haben (Multiplikation mit Maßstabszahl).

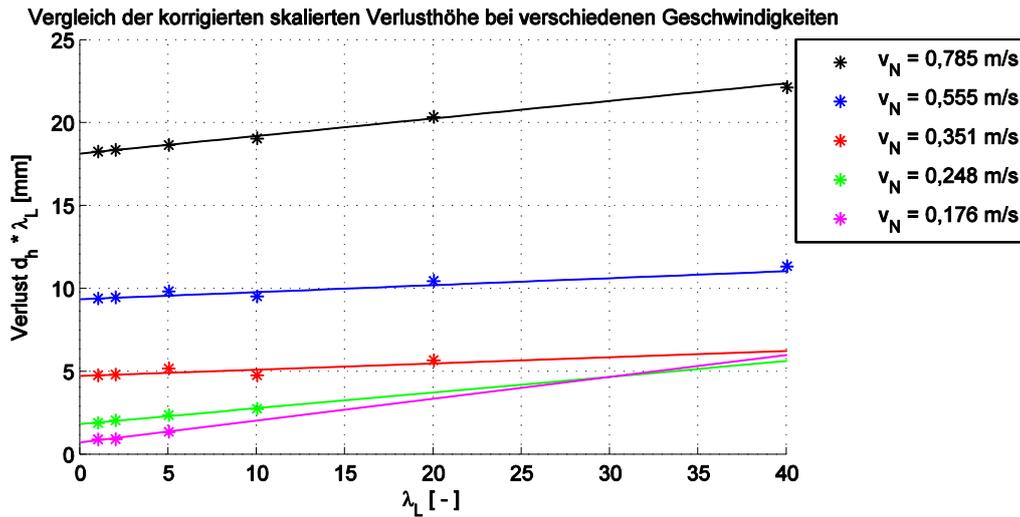


Abb. 58: Skalierte Verlusthöhen an Rechen mit extrapolierten Werten

Aufgrund der aus Tab. 42 zu entnehmenden Verbauungsgrade werden zunächst nicht alle Versuchsreihen mit Netzen betrachtet. Die Analyse der Abhängigkeit vom Verbauungsgrad folgt im Anschluss an die Betrachtung der Maßstabeffekte.

Tab. 42: Verbauungsgrad der untersuchten Netze in [%]

Maßstab	Verbauungsgrad [%]
1 : 1	17,4
1 : 2	17,4
1 : 3,3	14,3
1 : 5	14,3
1 : 13,3	9,3

Die Ergebnisse der ersten drei Versuchsreihen werden wie vorher bei den Rechen von Messausreißern bereinigt und sind in Abb. 59 dargestellt.

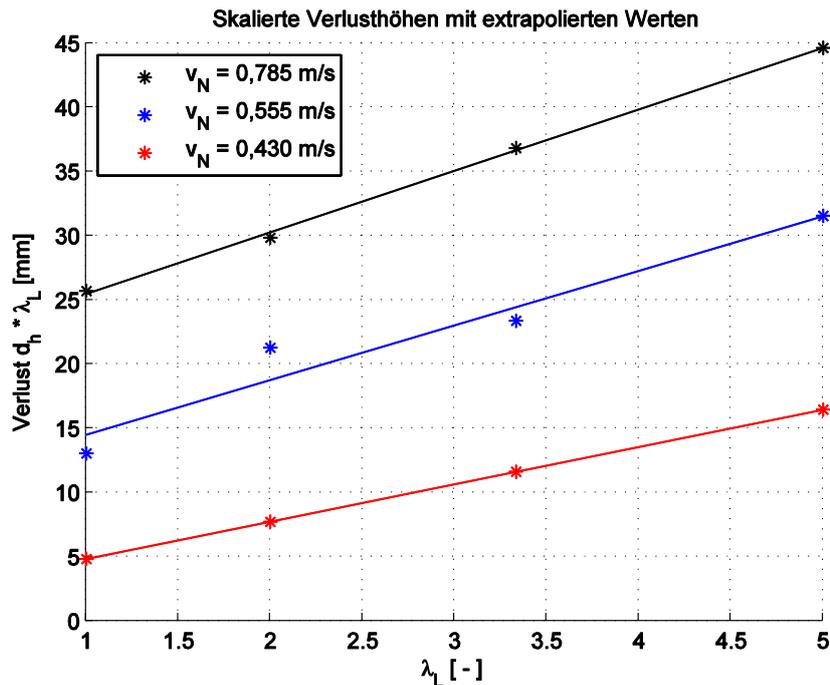


Abb. 59: Skalierte Verlusthöhen in [mm] mit extrapolierten Werten

Beim Vergleich der Messwerte des Maßstabs 1:1 mit den anderen Werten derselben Versuchsreihe zeigen sich die in Tab. 43 aufgelisteten Differenzen. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Verlusthöhen bei größeren Maßstabzahlen deutlich ansteigen. Für große Geschwindigkeiten ist dieser Effekte ausgeprägter. So steigt die Verlusthöhe bei $v_N = 0,785$ m/s beim Maßstab 1:5 um 18,9 mm an, wohingegen sie bei der Versuchsreihe $v_N = 0,43$ m/s lediglich um 11,6 mm ansteigt.

Tab. 43: Differenzen zwischen den Messwerten der kleinskaligen Netze zum Messwert des Netzes in 1:1 in mm

		Strömungsgeschwindigkeit v_N [m/s]		
		0,430	0,555	0,785
Maßstab	1 : 1	0,0000	0,0000	0,0000
	1 : 2	2,9099	8,2407	4,1313
	1 : 3,3	6,7888	10,3085	11,1162
	1 : 5	11,6396	18,5009	18,9221

Diese Abweichungen sind in der folgenden Tab. 44 prozentuell dargestellt.

Tab. 44: Prozentuelle Erhöhung der an den Netzen gemessenen Verlusthöhe durch Maßstabeffekte in [%]

		Strömungsgeschwindigkeit v_N [m/s]		
		0,430	0,555	0,785
Maßstab	1 : 1	0,00	0,00	0,00
	1 : 2	37,53	38,66	13,83
	1 : 3,3	58,36	44,08	30,16
	1 : 5	70,61	58,59	42,37

Es ist zu erkennen, dass die absoluten Werte bei den kleineren Geschwindigkeiten kleiner sind. Prozentuell betrachtet sind sie jedoch größer als die bei den größeren Geschwindigkeiten. Das liegt daran, dass bei den kleineren Geschwindigkeiten Abweichungen von 0,1 mm (skaliert 0,5 mm) schon 10 % des absoluten Wertes darstellen. Somit können durch Ungenauigkeiten der Messgeräte große prozentuelle Abweichungen entstehen. Dennoch ist der Trend, dass die Maßstabseffekte bei zunehmenden Maßstabszahlen größer werden, deutlich zu erkennen.

Für die Auswertung der Abhängigkeit der Verlusthöhe vom Verbaugrad werden im Folgenden die schon vorher untersuchten Versuchsreihen im Bereich der Maßstäbe 1:3,3 bis 1:13,3 betrachtet. In Abbildung 60 ist zu erkennen, dass die Verlusthöhen bei einer Reduzierung des Verbaugrades abnehmen. Dies geschieht bei größeren Geschwindigkeiten stärker als bei den kleineren. Da in diesem Bereich der Messwerte auf Grund des Maßstabes nur wenige Messungen durchgeführt wurden, kann der hier gezeigte Trend lediglich qualitativ und nicht als allgemeingültig betrachtet werden.

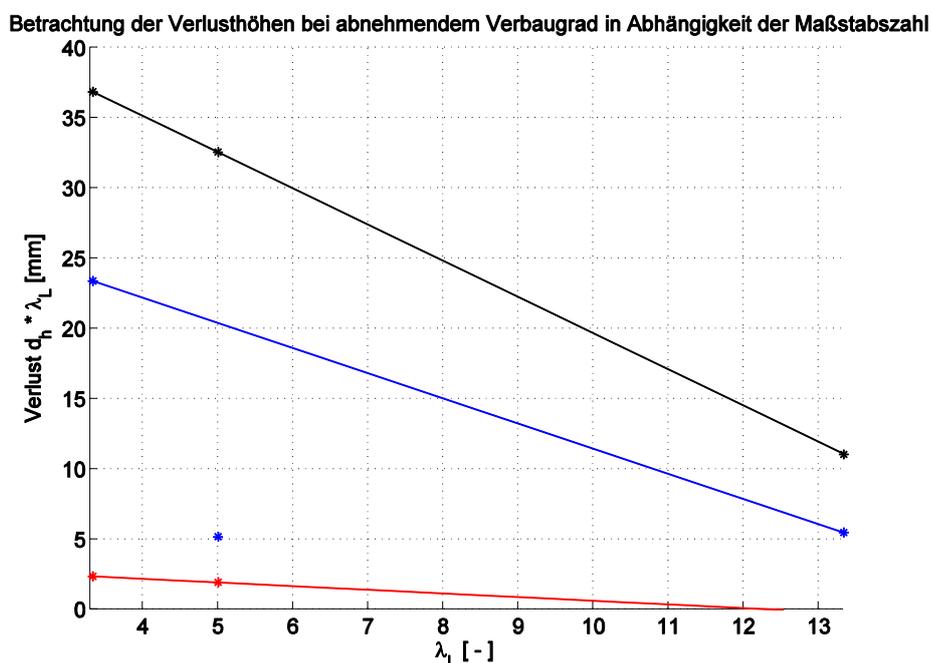


Abb. 60: Verlusthöhen bei abnehmendem Verbaugrad in Abhängigkeit der Maßstabszahl

Da nur sehr wenige Messungen in diesem Bereich vorliegen, können keine Funktionen für den Zusammenhang zwischen Verbaugrad und Verlusthöhe definiert, sondern lediglich der Trend dargestellt werden.

Vergleich zwischen Netzen und Rechen

Auf Grund des unterschiedlichen Verbaugrades der im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Netze und Rechen, ist ein direkter Vergleich von Netzen mit Rechen in Bezug auf Durchströmungsverluste nicht möglich. Dennoch kann durch den Vergleich der Ergebnisse eine ungefähre Abschätzung des Einflusses der Netze auf den Gesamtwiderstand eines für die Offshore-Fischzucht verwendeten Käfigs getroffen werden.

Für diesen Vergleich werden nun die Messwerte des Rechens im Maßstab 1:2 mit denen des Netzes im Maßstab 1:1 verglichen. Der Vergleich dieser beiden Einbauten beruht auf den Abmessungen der in der Natur verwendeten Konstruktionselemente. Aus statischen Gründen sind bei den Käfigstäben Durchmesser von etwa 80 mm vorstellbar, die Netze haben die Abmessungen des hier verwendeten Netzes. Dennoch kann dieser Vergleich nur als Abschätzung dienen, da unter anderem die Öffnungsweite zwischen den Käfigstäben in der Natur erheblich größer ist.

Die für den Vergleich ausgewählten Messwerte sind in Tab. 45 aufgelistet und in Abb. 61 graphisch dargestellt. Es ist zu erkennen, dass beide untersuchten Verbauarten ein ähnliches Verhalten in der Strömung zeigen. Die Verlusthöhe steigt bei Erhöhung der Geschwindigkeit etwa im gleichen Maß an, wobei die an den Netzen gemessenen Strömungsverluste geringer als die an den Rechen gemessenen ausfallen.

Tab. 45: Vergleich von Rechen in 1:2 und Netz in 1:1

Rechen in 1:2		Netz in 1:1	
v_x [m/s]	d_h [mm]	v_x [m/s]	d_h [mm]
0,785	18,39	0,785	13,08
0,555	9,49	0,555	4,84
0,351	4,84	0,430	3,66
0,248	2,08	0,351	0,78
0,176	0,95		

Vergleich der skalierten Verlusthöhen des Rechens in 1:1 und des Netzes in 1:1

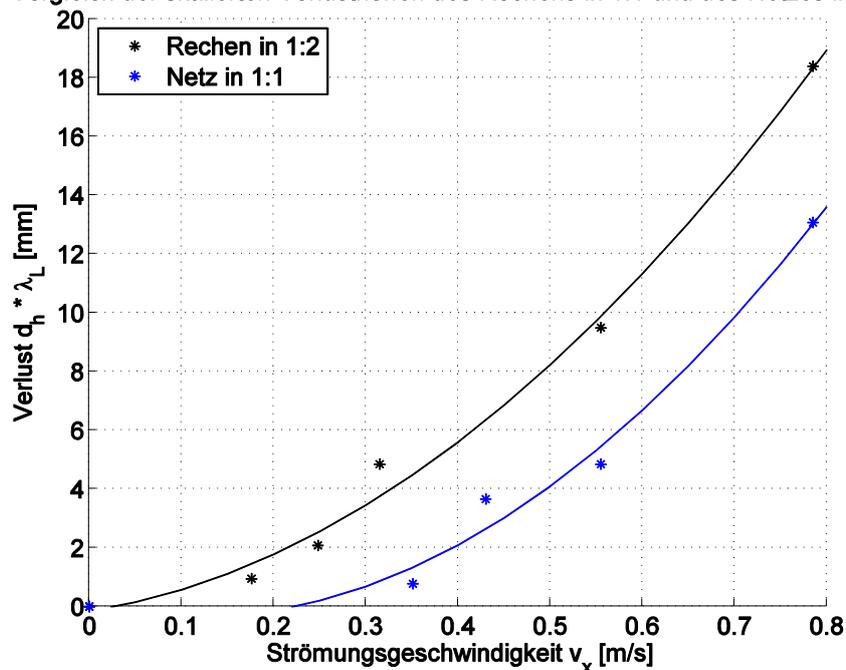


Abb. 61: Vergleich von Rechen in 1:2 und Netz in 1:1

Die Berechnung der verwendeten Ausgleichsfunktionen verdeutlicht diese Beobachtungen ein weiteres Mal. Die in Abb. 61 gezeigten quadratischen Ausgleichsfunktionen sind abschließend in Tab. 46 aufgeführt.

Tab. 46: Ausgleichsfunktionen der Vergleichselemente

Vergleichselement	Ausgleichsfunktion
Rechen im Maßstab 1:2	$y = 23,6927 * x^2 + 4,9115 * x - 0,1502$
Netz im Maßstab 1:1	$y = 29,4030 * x^2 - 6,5299 * x - 0,0061$

Die Differenz zwischen den Verlusthöhen bei gleichen Geschwindigkeiten wurden mit den in Tab. 46 angegebenen Funktionen berechnet. Diese sind zusammen mit der Differenz zu-einander in Tab. 47 dargestellt.

Tab. 47: Mit Ausgleichsfunktionen ermittelte Verlusthöhen an den Vergleichselementen

	Rechen in 1:2	Netz in 1:1	Differenz	zusätzlicher Verlust [%]
v_x [m/s]	d_h [mm]	d_h [mm]	Δ [mm]	
0,8	18,94	13,59	5,35	71,73
0,7	14,90	9,83	5,07	65,99
0,6	11,33	6,66	4,67	58,81
0,5	8,23	4,08	4,15	49,58
0,4	5,61	2,09	3,52	37,22
0,35	4,47	1,31	3,16	29,31

Es zeigt sich, dass die Differenzen im gewählten Geschwindigkeitsbereich zwischen 3,16 mm und 5,35 mm liegen. Eine Gitterstruktur dessen Zwischenräume zusätzlich mit Netzen verbaut sind, würde nach den in Tab. 44 ausgewerteten Geschwindigkeiten einen zusätzlichen Strömungsverlust in Höhe von 30 % bei der niedrigsten Belastung und bis 70 % bei der größten Belastung erzeugen.

7.4.4 Hydraulische Modellversuche

Grundlagen der hydraulischen Modellierung

Hydraulische Modelle

Ein hydraulisches Modell ist die geometrisch verkleinerte oder vergrößerte Nachbildung eines zu untersuchenden Naturbauwerks (Bollrich 2000b). Um die am Modell gemessenen physikalischen Vorgänge mit der Natur vergleichen zu können, müssen die Vorgänge im Modell physikalisch ähnlich ablaufen.

Diese Ähnlichkeit besteht dann, wenn geometrische (Längen), kinematische (Zeiten, Beschleunigung) und dynamische Größen (Kräfte) in einem bestimmten Verhältnis übertragbar sind. Die geometrische Ähnlichkeit ist erreicht, wenn alle Längen im Modell (l_M) im gleichen Verhältnis zu den entsprechenden Längen in der Natur (l_N) stehen, das heißt

$$\lambda_L = \frac{l_N}{l_M} = \text{const.} \quad \text{Gl. 21}$$

λ_L wird als Maßstabszahl bezeichnet und der Modellmaßstab ergibt sich aus dem Kehrwert ($1 : \lambda_L$). Bei der kinematischen Ähnlichkeit müssen die Zeiten und Geschwindigkeiten des Modells in einem bestimmten Verhältnis zu der Natur stehen. Es ergeben sich die Gleichungen

$$\lambda_T = \frac{t_N}{t_M} = \text{const.} \quad \text{Gl. 22}$$

für die Zeit

$$\lambda_V = \frac{\lambda_L}{\lambda_T} = \frac{v_N}{v_M} = \text{const.} \quad \text{Gl. 23}$$

für die Geschwindigkeit.

Die dynamische Ähnlichkeit erfordert, dass alle Kräfte in Modell und Natur im gleichen Verhältnis zueinander stehen, und dass deren Resultierenden die gleiche Richtung haben. Somit ist gewährleistet, dass Teilchen in der Strömung im Modell die gleiche Beschleunigung erfahren wie in der Natur und dass sich somit ähnliche Strömungsverhältnisse ausbilden. Die wichtigsten Kräfte in

hydraulischen Modellversuchen sind Trägheits-, Schwere- und Reibungskräfte. Volle dynamische Ähnlichkeit erfordert, dass die Maßstabszahlen aller Kräfte gleich sind:

$$\lambda_{FT} = \lambda_{FS} = \lambda_{FR} \quad \text{Gl. 24}$$

Ersetzt man nun diese Maßstabszahlen durch die Maßstabszahlen der Basiseinheiten erhält man die folgende Gleichung

$$\frac{\lambda_\rho \cdot \lambda_L^4}{\lambda_T^2} = \lambda_\rho * \lambda_g * \lambda_L^3 = \frac{\lambda_\eta \cdot \lambda_L^2}{\lambda_T} \quad \text{Gl. 25}$$

Da in der Natur und im hydraulischen Modell Wasser als Medium benutzt wird, gilt:

$$\lambda_\rho = \lambda_\eta = 1 \quad \text{Gl. 26}$$

Da das Modell unter der Annahme der Erdbeschleunigung erstellt wird, gilt für alle Versuche:

$$\lambda_g = 1 \quad \text{Gl. 27}$$

Somit ist Gl. 27 nur erfüllt, wenn $\lambda_L = \lambda_T = 1$ ist. Folglich kann nur für den Maßstab 1 ein Modell gebaut werden, welches die Anforderungen für eine volle dynamische Ähnlichkeit erfüllt. Wird im hydraulischen Modell ein kleinerer Maßstab verwendet, können nicht mehr alle Kräfte berücksichtigt werden. Deshalb müssen vor einem Versuch die zwei maßgebenden Kräfte bestimmt werden, die anderen werden vernachlässigt. Die im folgenden Kapitel beschriebenen Ähnlichkeitsgesetze beschäftigen sich mit bestimmten Kräfteverhältnissen.

$$\frac{\lambda_L^4}{\lambda_T^2} = \lambda_L^3 \Rightarrow \frac{\lambda_L}{\lambda_T^2} = 1 \quad \text{Gl. 28}$$

Aus dieser Beziehung ergeben sich die Zeit- und Geschwindigkeitsmaßstabszahlen zu

$$\lambda_T = \sqrt{\lambda_L} \quad \text{und} \quad \lambda_V = \sqrt{\lambda_L} \quad \text{Gl. 29}$$

Die Froudezahl ist definiert als

$$Fr^2 = \frac{v^2}{g \cdot l} \quad \text{Gl. 30}$$

und gibt somit Auskunft über das Verhältnis der Trägheitskraft zur Schwerkraft. Darüber hinaus sagt das Froude'sche Ähnlichkeitsgesetz aus, dass die Froudezahlen in Natur und Modell gleich sein müssen. In der Praxis kommt es häufig vor, dass Schwerkraft und Trägheitskräfte dominieren, vor allem bei voll turbulenten Fließvorgängen mit freiem Wasserspiegel, in offenen Gerinnen und bei Wellenbewegungen. Denn bei all diesen Vorgängen ist der Einfluss der Reibung vernachlässigbar.

Froude'sches Ähnlichkeitsgesetz

Ähnlichkeitsgesetze setzen physikalische Größen über die gewählten Maßstäbe in Relation. Hierbei ist die Trägheitskraft jeweils eine der beiden maßgebenden Kräfte. Sind bei einem physikalischen Modellversuch Trägheitskraft und Schwerkraft dominierend, folgt aus Gl. 25 bei gleicher Erdbeschleunigung in Natur und Modell und mit $\lambda_{FT} = \lambda_{FS}$:

Beschreibung der Versuche und Versuchseinrichtungen

Wellenkanal Schneiderberg (WKS)

Der WKS ist 110,0 m lang, 2,20 m breit, 2,0 m tief und kann mit Wasserständen von bis zu 1,10 m betrieben werden. Mit der an der Stirnseite installierten Plattenwellenmaschine (Typ Piston) können langkämmige, regelmäßige und unregelmäßige Wellenzüge (Seegangsspektren) erzeugt werden. Die durch einen Hydraulikzylinder kontrolliert bewegte senkrechte Platte kann um $\pm 0,32$ m (Stroke) ausgelenkt werden und regelmäßige Wellen mit einer Wellenhöhe von bis zu 0,50 m erzeugen. Die Bewegungen zur Erzeugung von regelmäßigen und unregelmäßigen Wellenzügen werden über einen PC mit analogem Ausgang gesteuert.

Am Ende des Wellenkanals befindet sich eine Böschung zur passiven Absorption der Wellen, um ungewollte Re-Reflexionen weitgehend zu verhindern und damit typische Modelleffekte durch künstliche, laborbedingte Überlagerung von Wellenzügen auszuschließen.

In 42 m Entfernung zum Wellenblatt ist ein 0,25 m tiefes und 4,50 m langes, künstliches Sandbett aus fein gestuftem Sand ($d_{50} = 0,148$ mm) aufgebaut, in welches das TriPile-Fundament im Rahmen der Untersuchungen zu Geschwindigkeits-, Kraft- und Kolkuntersuchungen im lokalen Umfeld installiert wird.

Messtechnik

Wasserstandsmessung

Zur Messung der Wellenparameter (Wellenhöhe und Wellenperiode) stehen die von Delft Hydraulics Laboratory entwickelten konventionellen Wellenpegel zur Verfügung, deren Messsystem Spannungssignale liefert, die proportional zur Wasserspiegelauslenkung sind und deren Funktionsweise auf dem Widerstandsmessprinzip beruhen.

Die Wellenpegel unterteilen sich in eine Pegelharfe und Einzelpegel. Die Pegelharfe besteht aus drei in definierten Abständen positionierten Wellenpegel und wird zur Reflexionsanalyse der initialen, reflektierten und transmittierten Wellenzüge verwendet. Weitere Einzelwellenpegel befinden sich auf derselben Höhe wie das TriPile-Fundament, um in unmittelbarer Nähe des Fundaments die Oberflächenauslenkung der Welle zu messen.

Geschwindigkeitsmessung

Zur Erfassung der Geschwindigkeiten kommen in Abhängigkeit von der jeweiligen Messposition zwei Systeme zum Einsatz. Die Messungen der dreidimensionalen Strömungsfelder werden durch ein „Particle Image Velocimeter (PIV)“ der Firma LAVISION durchgeführt. Die Bedienung des Gerätes erfolgt mit Hilfe der Herstellersoftware DAVIS. PIV ist eine Messmethode, die es ermöglicht, vollständige Geschwindigkeitsfelder aus einer Sequenz von Einzelbildern zu erstellen. Dabei werden Partikel im Wasser durch eine Lichtquelle beleuchtet. Durch den Vergleich zweier Bilder in zeitlich geringen Abstand kann der Weg, den die Partikel innerhalb einer bestimmten Zeit zurückgelegt haben, bestimmt und so das Geschwindigkeitsfeld berechnet werden (Sveen und Cowen 2004). Das resultierende Vektorfeld ist also streng genommen das Vektorfeld der Partikel, die durch die Strömung transportiert werden, und nicht das der tatsächlichen Strömung selbst. Das Vektorfeld der Partikel und das der Strömung kann aber unter folgenden Annahmen gleichgesetzt werden: Zum einen muss die zeitliche Differenz zweier Bilder klein genug sein, sodass die unmittelbare Geschwindigkeit durch einen Differenzenquotienten ersetzt werden kann, und zum anderen dürfen die Partikel das Strömungsfeld nicht beeinflussen.

Als Lichtquelle dient ein Laser, da im Vergleich zu anderen Lichtquellen nur Laserlicht auf einen ausreichend dünnen Lichtschnitt fokussiert werden kann (vgl. Abb. 62), um so die Partikel lediglich aus einer Ebene aufzunehmen. Weiterhin ist es aufgrund der oftmals hohen Strömungsgeschwindigkeiten notwendig, für die Beleuchtung mit kurzen Laserpulsen (6 – 10 ns) zu arbeiten, um so scharfe Partikelbilder zu erhalten. In diesem Fall wird ein Neodym-dotierter Yttrium-Aluminium-Granat-Doppelpuls-Laser (Nd:YAG) und somit ein Festkörperlaser verwendet. Nd:YAG Laser haben einen starken Vergrößerungsfaktor sowie gute mechanische und thermische Eigenschaften. Das Wellenspektrum, das der Laser erzeugt, liegt mit einer Wellenlänge von 1064 nm im Infrarotbereich. Durch eine konfigurierte Lichtbrechung wird die Wellenlänge auf ein sichtbares Spektrum von 534 nm gebracht.

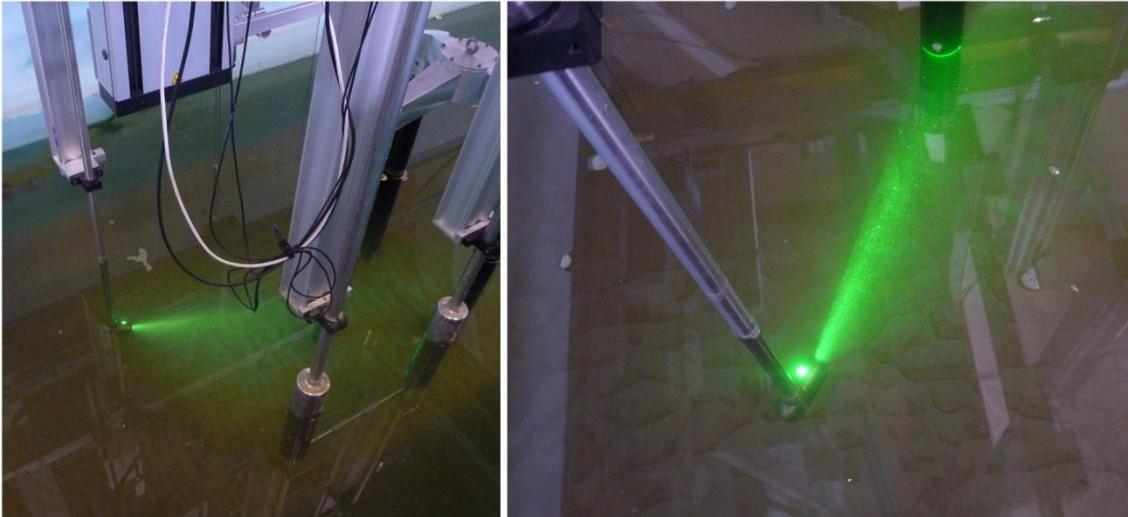


Abb. 62: Tauchbares PIV-Messsystem mit Darstellung des Laserkopfes sowie der Kamerasektionen (links), Darstellung des Laserschnittes im Wasserkörper und Aufweitung durch Zylinderlinse

Für die Bildaufnahme werden Hochgeschwindigkeitskameras („charge coupled device“-Kameras CCD) verwendet, mit denen über 100 Bilder/Minute aufgenommen und gespeichert werden können, sodass ein sehr kurzer Zeitabstand zwischen dem ersten und dem zweiten Bild ermöglicht wird (hier: 30 ns) (Raffel, Willert, und Kompenhans 1998). Für die Aufnahme der Tracerpartikel stehen zwei Kameras zur Verfügung, sodass es sich um ein Stereo-PIV handelt. Dieses bietet den Vorteil, dass nicht nur 2D, sondern sogar 3D-Strömungsfelder betrachtet werden können. Abb. 63 verdeutlicht die Anordnung der Kamerasektionen an einer Position mit Bezug auf die TriPile-Konstruktion. Positionsdetails zu den Geschwindigkeitsmessungen sind dem Abschnitt 0 zu entnehmen.



Abb. 63: PIV-Kamerasektionen mit Umlenkspiegel als tauchbares System zur Erfassung der horizontalen Ebenen vor dem TriPile

Für die Geschwindigkeitsmessungen in schwer zugänglichen Bereichen innerhalb des TriPiles wird ein „Acoustic Doppler Velocimeter“ (ADV) zur Erfassung von Geschwindigkeiten in drei Raumrichtungen in einem Punkt mit hoher Frequenz verwendet. Das Messprinzip der ADV-Sonde beruht auf dem Doppler-Effekt: Von einer akustischen Quelle mittig der Messsonde aus wird ein akustisches Signal ausgesandt. Dieses wird dann von Partikeln im Wasser reflektiert und von vier um die Quelle herum

äquidistant angebrachten Empfängern aufgenommen. Die akustische Frequenz, die nach der Reflexion von den Empfängern wieder aufgenommen wird, hat aufgrund der Bewegung des Partikels eine Frequenzänderung erfahren. Aus der daraus resultierenden Phasenverschiebung der drei Signale und deren Laufzeiten lässt sich die Geschwindigkeit des Partikels ermitteln (Hughes 1993). Um hinreichend genaue Messwerte zu bekommen, muss eine genügend hohe Konzentration von Partikeln im Wasser vorhanden sein. Bei der Versuchsdurchführung wurden deswegen zusätzliche Partikel dem Wasser hinzugefügt. Abb. 64 zeigt die ADV-Sonde während einer Messung unterhalb des Stützkreuzes.



Abb. 64: Darstellung der ADV-Sonde von vorne und schräg oben während einer Messung unterhalb des TriPile-Stützkreuzes

Die Messungen mit der ADV-Sonde werden generell getrennt von den PIV-Messungen durchgeführt. So wird sichergestellt, dass weder die zusätzlichen Partikel noch die ADV-Sonde selber das Messergebnis des PIV verfälscht. Um die Geschwindigkeitsmessungen trotzdem vergleichbar zu gestalten, werden die Messungen mit der ADV-Sonde an genau den gleichen Positionen wie bei den Messungen mit dem PIV durchgeführt. Dabei wird jeweils einmal eine Nullposition sowie eine Position vor und hinter der Struktur in der oberen Ebene untersucht. Lediglich innerhalb des TriPiles wird sowohl die obere als auch die untere Ebene betrachtet, da in diesem Bereich eine PIV-Messung nicht möglich war. Die Versuche wurden für die maximale als auch die häufige Welle und sowohl mit als auch ohne Käfig durchgeführt. Nähere Details zu den Messpositionen der Geschwindigkeitsmessungen sind dem Abschnitt 0 zu entnehmen.

Kraftmessung

Die Messung der Kräfte zwischen den AKKs und der TriPile-Struktur erfolgt mithilfe von Universalkraftaufnehmern der Firma Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH. Es können Zug- und Druckbelastungen über ein System von Dehnmessstreifen für eine Nennkraft von 500 N erfasst werden. Die Genauigkeit der Kraftaufnehmer beträgt 2 % der Nennkraft.

Kolkiefenmessung

Die Erfassung der Kolkiefenentwicklung basiert auf einem optisches Verfahren mittels Unterwasserkameras. Es kommen drei Kameras des Typs Eyseo Ecoline der Firma Abus zum Einsatz. Eine Kamerarichtung ist orthogonal zur Kanalwand in der Mittelachse des Käfigs angeordnet. Die weiteren Kameras sind hinsichtlich ihrer Ausrichtung so platziert, dass das gesamte TriPile-Modell mittels des Blickwinkels der Kameras (78°) zu überblicken ist. Abb. 65 zeigt die Lage der Kameras zum TriPile-Modell. Die Befestigung der Unterwasserkameras (UW-Kamera) erfolgt auf einem an der Kanalwand befestigten Balken. Dabei befand sich die Basis der Kameras ca. 10 cm über dem Sandbett und war um ca. 10° gegen die Horizontale geneigt um eine Betrachtung von oben zu ermöglichen.

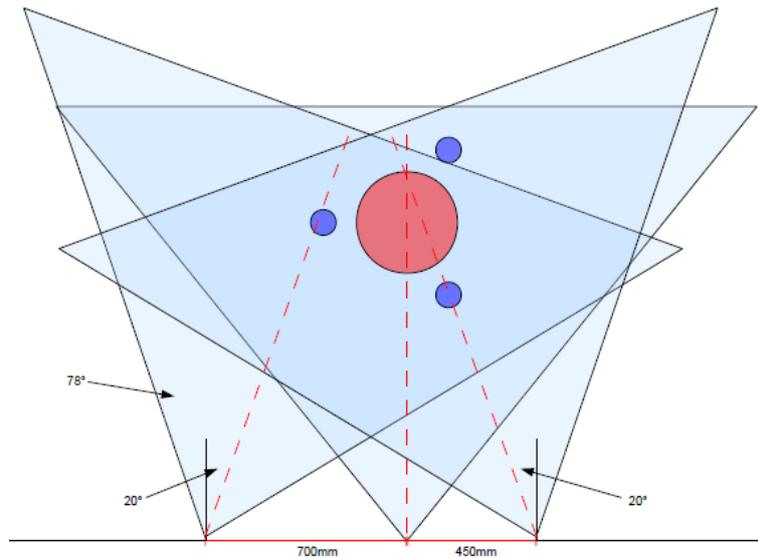


Abb. 65: Darstellung der Blickrichtung der verwendeten Unterwasserkameras zur Dokumentation der Kolkentwicklung während der Modellversuche

Die Kameras werden über entsprechende Hardware mit einem PC verbunden, auf dem sich eine entsprechende Software zur Anzeige und Export der Bilder befindet. Zusätzlich werden Bilder und Videos mit einer wasserdichten digitalen Kompaktkamera des Typs Lumix DMC-FT2 der Firma Panasonic erstellt.

Neben der reinen Dokumentation der Kolkentwicklung erfolgt die quantitative Erfassung der Kolkentwicklung mittels Maßstäbchen. Um die Kolkentwicklung innerhalb der Sequenz der Einzelbilder und Videos bestimmen zu können, werden ca. 2 mm dünne Kunststoffstäbchen zugeschnitten ($L = 22,7 \text{ cm}$). Die Maßstäbchen erhalten eine regelmäßige Markierung von 10 mm Breite im Abstand von 10 mm. Nach Positionierung der Maßstäbchen im Sandbett stehen diese Maßstäbchen 20 mm aus dem ebenen Planum vor Versuchsbeginn heraus. Die verwendeten Maßstäbchen sind der Abb. 66 zu entnehmen.

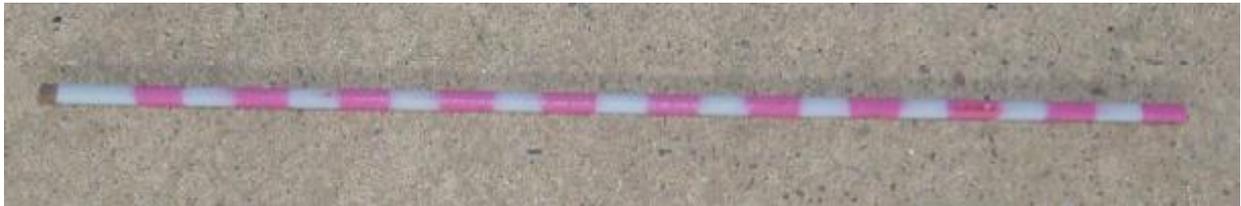


Abb. 66: Darstellung eines Maßstäbchens aus Kunststoff mit 10 mm Maßmarkierung

Die Maßstäbchen zur quantitativen Bestimmung der Kolkentwicklung werden zur exakten Positionierung relativ zur TriPile-Struktur in Bohrungen in einer vorbereiteten PE-Platte (siehe Abb. 67) unterhalb des Sandbettes fixiert. Die zur Befestigung der Maßstäbchen verwendete PE-Platte ($d = 7 \text{ mm}$) wird durch die Auflast des darüber liegenden Sandbettes beschwert und in seiner Lage gehalten. Mithilfe der Maßstäbchen und der Dokumentation mittels Bildern lässt sich die Kolkentwicklung über die Anzahl an Wellen im Rahmen einer manuellen Auswertung des Bildmaterials bestimmen. Hierzu werden die Bilder der Wellenzahl zugeordnet, mittels einer visuellen Ablesung des Maßstabes auf den Stäbchen die individuelle Kolkentwicklung pro Position im Modell bestimmt und tabellarisch erfasst. Zur Beschreibung der Versuchsdurchführung und der Auswertung wird auf Kapitel 7.3.4 verwiesen. Die Ergebnisse der Kolkuntersuchungen sind dem Kapitel 7.3.5 zu entnehmen.



Abb. 67: Modelltechnische Befestigung der Maßstäbchen innerhalb des Sandbettes um den TriPile in vorgebohrten PE-Platten, TriPile mit Zylinder-AKK

Randbedingungen der Versuche

Im Rahmen der physikalischen Modellierung der kombinierten Systeme - Offshore-Windenergie- und Aquakulturanlage - soll geklärt werden, welche Einflüsse zwischen den beiden Elementen Offshore-Tragstruktur und AKK zu erwarten sind. Insbesondere interessieren hierbei die veränderten Strömungsgeschwindigkeiten innerhalb und außerhalb des AKKs und um den TriPile herum, um so mögliche Auswirkungen auf die Umweltbedingungen für die zu züchtenden Fische untersuchen zu können.

Die zu untersuchenden Strömungsgeschwindigkeiten richten sich nach der maximalen horizontalen Geschwindigkeit der häufigen und der maximalen Welle am geplanten Standort Veja Mate. Mit dem in Abb. 68 dargestellten Korrelationsdiagramm der Messreihe im Zeitraum vom 01.01.1958 bis zum 30.11.2005 ergibt sich die signifikante Wellenhöhe H_s und die Peakperiode T_p der häufigen und maximalen Welle durch eine statistische Auswertung, die als gegeben angenommen wird. Die Wellenhöhe und -periode der maximalen Welle beträgt $H_s = 11,0$ m und $T_p = 14,0$ s. Entsprechend ergibt sich für die häufige Welle $H_s = 1,5$ m als Wellenhöhe und $T_p = 6,0$ s als Peakperiode.

VEM year	Total Peak Period [s]															Sum	54.35 N 5.90 E			
	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	>					
>																	0	>		
15.00																	0	15.00		
14.00																	0	14.00		
13.00																	0	13.00		
12.00																4	4	12.00		
11.00																14	14	11.00		
10.00											10	28	21			65	124	10.00		
9.00										15	66	76	88			57	302	9.00		
8.00										22	167	249	353	144		65	800	8.00		
7.00								1	38	326	693	462	90	146		46	2002	7.00		
6.00							1	60	719	1839	1236	626	39	121		64	5005	6.00		
5.00						10	195	1961	4953	3183	1198	532	57	159		200	12748	5.00		
4.00					104	1550	4259	3479	1256	432	284	45	143		204	11956	4.00			
3.50				5	1190	4975	6405	2886	1044	485	381	35	225		258	18239	3.50			
3.00				22	2464	4202	3136	1200	479	266	302	70	216		258	12815	3.00			
2.75				91	4883	4891	2949	1105	486	374	351	38	211		261	15940	2.75			
2.50				5	421	8074	4929	2482	1056	531	510	473	7	232		329	19429	2.50		
2.25				18	1697	11653	4734	2283	953	639	730	802	2	328		376	24705	2.25		
2.00				117	5615	13215	4190	2334	1074	789	1056	1088	3	451		420	30932	2.00		
1.75				4	776	11722	12103	3876	2142	1357	1256	1650	1201	31	509		549	37776	1.75	
1.50						16187	11788	4067	2540	1851	2155	1735	1017	52	597		696	47543	1.50	
1.25					730	12348	15999	11107	3849	2983	2741	2383	1546	984	32	833		627	56112	1.25
1.00				10	5636	15687	13281	9612	2893	2803	2454	1613	950	796	37	632		552	57733	1.00
0.75				550	15416	12236	7231	4127	2022	1530	1250	745	773	610	30	386		239	48137	0.75
0.50				1243	5872	4886	1287	993	715	618	451	494	405	313	55	149		81	17703	0.50
Sum	1803	27742	50247	7338	91323	47089	38486	27567	19220	14221	10547	7383	5592	0	53654	20023	Sum			
From: 19580101	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	>	Sum	Until: 20051130			
	Total Peak Period [s]																			

Abb. 68: Korrelationsdiagramm aus signifikanter Wellenhöhe und Peakperiode einer Messreihe vom 1.1.1958 bis zum 30.11.2005 am Standort Veja Mate

Ausgehend von diesen Wellenparametern lässt sich bestimmen, ob sich die Wellen im Tief-, im Flachwasser oder im Übergangsbereich befinden. Abhängig davon ergibt sich, ob die Wellenlängen aus unterschiedlichen mathematischen Zusammenhängen bestimmt werden müssen, um so die unterschiedliche Beeinflussung durch die Gewässersohle zu berücksichtigen. Es wird der Wert d/L ermittelt, wobei die Wassertiefe $d = 30$ m beträgt und die Wellenlänge mit $L = 1,56T_p^2$ zunächst angenähert angenommen wird. Für die häufige Welle ergibt sich $d/L = 0,53 > 0,5$. Der Wert indiziert Tiefwasserverhältnisse, sodass mit keinerlei Beeinflussung durch die Gewässersohle zu rechnen ist. Die Wellenlänge L_0 im Tiefwasserbereich kann mit folgender Gleichung berechnet werden (O. A. 2007):

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = \frac{9,81m/s^2 \cdot 6,0s^2}{2\pi} = 56,21 m \quad \text{Gl. 31}$$

Für die maximale Welle allerdings ergibt sich $d/L \sim 30/(1,56 \cdot 14^2) = 0,10 \rightarrow 0,05 < d/L < 0,5$. Sie liegt im Übergangsbereich zwischen Tief- und Flachwasser, sodass mit einer Beeinflussung durch die Gewässersohle gerechnet werden muss. Es ist also erforderlich, eine Wellentheorie höherer Ordnung zu verwenden, um so zu berücksichtigen, dass die Orbitalbahnen keine geschlossenen Kreisformen darstellen und somit ein Massentransport stattfindet. Zur Berechnung der Wellenlänge der maximalen Welle kann die Formel nach STOKES Theorie 2. Ordnung verwendet werden:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad \text{Gl. 32}$$

Eine vereinfachte Lösung der Gl. 32 ergibt nach dem Verfahren von Eckart eine Wellenlänge $L = 226,60$ m.

Tab. 48: Zusammenfassung der Natur- und Modellgrößen basierend auf dem Froude'schen Ähnlichkeitsgesetz

	Naturmaßstab		Modellmaßstab	
	Maximale Welle	Häufige Welle	Maximale Welle	Häufige Welle
Wassertiefe d	30,0	30,0	0,75	0,75
Sign. Wellenhöhe h_s [m]	11,0	1,5	0,28	0,04
Peakperiode T_p [s]	14,0	6,0	2,20	0,95
Wellenlänge L [m]	226,6	56,21	6,24	1,41

Für die Untersuchungen ergeben sich die in Tab. 48 dargestellten Werte für die Wassertiefe, die signifikante Wellenhöhe, die Wellenperiode und die Wellenlänge der maximalen und häufigen Welle im Natur- und im Modellmaßstab. Es wird ausgehend von den dargestellten Randbedingungen vereinfachend angenommen, dass die Wellenhöhen und Perioden durch regelmäßige Wellen repräsentiert werden können. Die hieraus resultierenden Kräfte zwischen Käfig und Struktur können dann sofern notwendig mit bekannten Ansätzen (z.B. mit linearer Wellentheorie) auf die maximalen Wellen eines Ereignisses bezogen werden.

Geschwindigkeitsuntersuchungen

Die Versuche werden im Maßstab 1:40 durchgeführt. Der zur Verfügung stehende Wellenkanal wird in Kapitel 7.3.4 erläutert. Die Wassertiefe für die durchgeführten Versuche wurde auf 1,0 m konstant gehalten. Etwa mittig des Wellenkanals befindet sich auf der Kanalsole ein 0,25 m tiefes Sandbett. Das zu untersuchende TriPile-Modell, das aus Aluminiumteilen gefertigt wurde, ist in einem Abstand von 42,5 m zu der Wellenmaschine in dieses Sandbett eingebaut. Die Wassertiefe über dem Sandbett beträgt 0,75 m, welches bei einem Längenmaßstab von 1:40 in der Natur einer Wassertiefe von $d = 30$ m entspricht. Abb. 69 stellt die grundsätzliche Anordnung des TriPiles im Labor sowie die Anordnung der Wellenpegel dar.

Dieser Wert ist eine Annahme in Anlehnung an den Standort Veja Mate. Für die Versuchsdurchführung sind die Einzelpfähle des TriPiles mit einer speziellen schwarzen Folie beklebt worden, um mögliche Reflexionen, die durch das Laserlicht des in den Versuchen verwendeten PIV (vgl. Kapitel 7.3.4) entstehen können, möglichst gering gehalten werden. Der Einbau der TriPile-Konstruktion ist in Abb. 70 dargestellt.

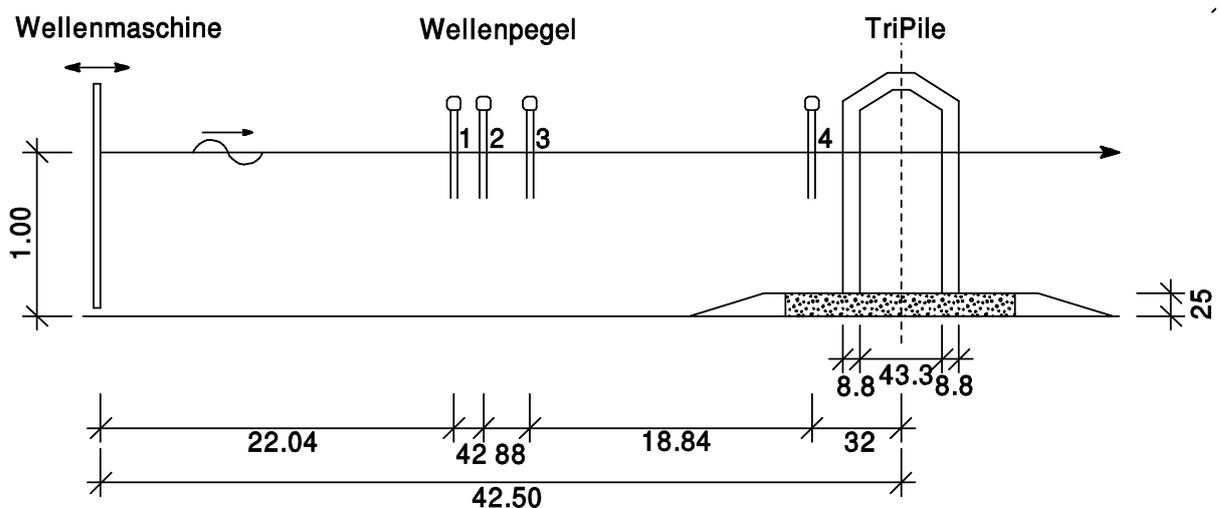


Abb. 69: Schematische Darstellung des Querschnitts des Wellenkanals mit Anordnung des TriPiles und der einzelnen Wellenpegel bezüglich der Wellenmaschine

Die Abmessungen der TriPile-Konstruktion im Modellmaßstab können Abb. 1-1 entnommen werden. Es wird im Rahmen der Untersuchung der Geschwindigkeiten um den TriPile und deren mögliche

Änderungen infolge eines AKK auf die Variante 1 Zylinderkäfig fokussiert. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich Strömungsänderungen infolge des Kugelkäfigs analog verhalten. Erst im Rahmen von finalen Bemessungen wäre es notwendig, weitere großmaßstäbliche Untersuchungen auch für die Kugelvariante anzustellen.



Abb. 70: Darstellung des Zylinderkäfigs sowie der TriPile-Konstruktion im Sandbett des Wellenkanals Schneiderberg

Für die Untersuchung der Auswirkung des AKK auf Strömungsgeschwindigkeiten ist ein geometrisches Ersatzmodell aus Holz zum Einsatz gekommen, um den Strömungseinfluss und die Strömungsumlenkung infolge des AKK zu simulieren. Entsprechend der in Kapitel 7.3.1 beschriebenen Abmessungen werden 12 Buchenstäbe einer Stärke von 4 mm sowie neun Aussteifungsstäbe mit einer Stärke von 8 mm verwendet. Es werden jedoch aus modellbautechnischen Gründen nur vier horizontale Kreisringe verwendet. Diese entsprechen den Kreisringen am Käfigkopf und am Käfigboden sowie in den Ebenen 3 und 9, an denen die Haltepunkte vorgesehen sind (vgl. Kapitel 7.3.1). Zu beachten ist, dass der Maßstab der Kreisringe nicht genau dem Naturmaßstab entspricht, da sonst keine Bohrungen und somit keine Befestigung der einzelnen Bauteile untereinander möglich gewesen wäre. Das Käfigmodell im Labor hat eine Höhe von $17,5 \text{ m}/40 = 43,8 \text{ cm}$ und einen Durchmesser von $14,0 \text{ m}/40 = 35,0 \text{ cm}$. Durch einen vierfachen Anstrich wird das Quellverhalten des Holzes verringert und eine Formstabilität über die Versuchsdauer sichergestellt. Um den Fischkäfig zu vervollständigen, wird innerhalb dieser Gitterstruktur ein Netz angeordnet. Die Maschenweite des Netzes beträgt im Modell 1,0 mm und die Fäden haben einen Durchmesser von 0,1 mm, was sowohl den Dimensionen als auch dem Verbaugrad nach den Größen in der Natur entspricht. Kapitel 7.3.3 geht in diesem Zusammenhang auf die Notwendigkeit der maßstäblichen Verkleinerung und den damit einhergehenden Limitationen der physikalischen Modellversuche ein.

Der Käfig wurde 12,5 cm über der Sohle des Sandbettes an den Pfählen des TriPiles befestigt. Dieses entspricht der in der Natur vorgesehenen Höhe von 5,0 m. Zur Befestigung wurden an den Pfählen des TriPiles Rohrschellen angebracht und an den Käfig an den entsprechenden Haltepunkten Ösen angeschraubt (vgl. Abb. 71). Zwischen die Ösen und die Rohrschellen erlauben Spannschlösser die Fixierung des Zylinderkäfigmodells, sodass nach Einbau keine Bewegung des Käfigs möglich ist. Für die Versuchsdurchführung wird der Käfig als auch die Halterungen mit einer matt-schwarzen Farbe zur Reduzierung von Reflektionen besprüht, die durch das Laserlicht des PIV entstehen können.



Abb. 71: Darstellung des Versuchsaufbaus mit Einbau des Käfigmodells in den TriPile

Die Kameras des PIV (vgl. Abb. 63) werden für die Versuchsdurchführung der Geschwindigkeitsmessungen so eingerichtet, dass horizontale Strömungsfelder aufgenommen werden können. Dazu werden die zwei PIV-Sektionen, in denen sich die Kameras befinden, senkrecht nach unten angeordnet. Die Kameras sind auf Spiegel ausgerichtet, die einen Winkel von 120° zur Vertikalen aufweisen und sich ebenfalls innerhalb der Torpedos befinden. Durch die Spiegelkonfiguration wird die Ebene, die sich $20,0\text{ cm}$ unter dem Spiegelmittelpunkt befindet, aufgenommen. Diese Ebene wird zeitgleich von dem Laser beleuchtet werden. Abb. 72 gibt Auskunft über die Anordnung der Kamerasektionen und der Winkelbeziehungen zur Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeiten in horizontalen Schnitten im Nahfeld der TriPile-Struktur und des Zylinderkäfigs. Die Kameras werden seitlich des TriPiles in einem Abstand von 40 cm angeordnet. Mit einem Winkel von jeweils 45° aufeinander zugewandt wird so die Messebene vor dem Pfahl erfasst. Die Kameras haben einen Abstand von 50 cm zueinander. Die Laseroptik ist in horizontaler Richtung auf einer Linie mit den Kameras angeordnet, befindet sich im Vergleich zu den Kameras aber in einem wesentlich größeren Abstand. So kann sich das Licht weit genug ausbreiten, sodass das gesamte Bild, welches von den Kameras aufgenommen wird, beleuchtet ist.

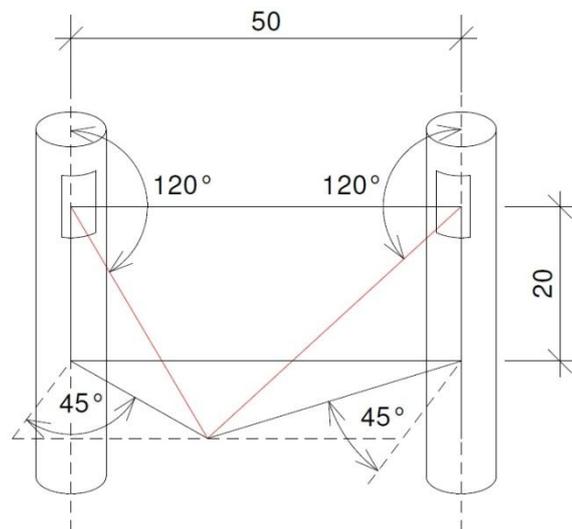


Abb. 72: Darstellung der Winkelbeziehungen der PIV-Kameras für die Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeiten in horizontalen Schnitten im Nahfeld der Struktur

Zur Verdeutlichung der Vorgehensweise ist in Abb. 73 der Versuchsaufbau und die Position der PIV-Messung der Ebene direkt vor dem ersten Pfahl des TriPiles in der Draufsicht schematisch dargestellt.

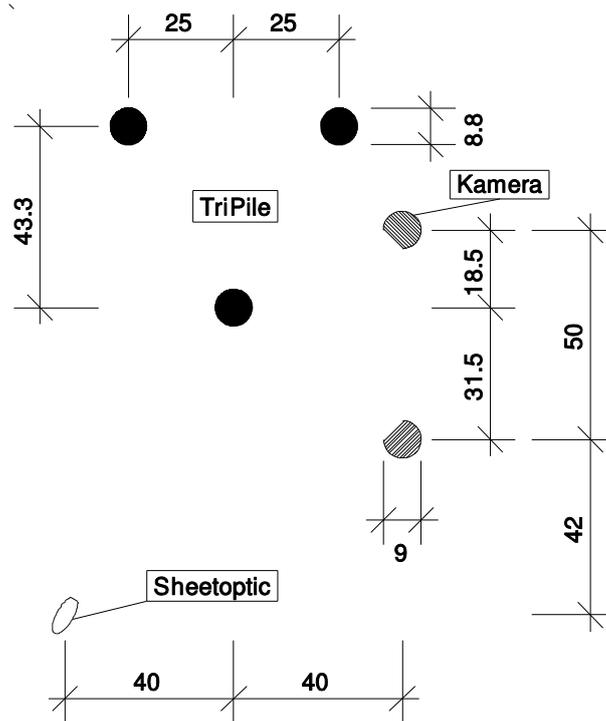


Abb. 73: Darstellung des schematischen Versuchsaufbaus für eine PIV-Messung der Ebene direkt vor dem TriPile in der Draufsicht

Hinsichtlich der Messfrequenz des PIV ist es mit Blick auf die spätere Auswertung sinnvoll, jeweils am Wellenberg und -tal, sowie an den Nullpunkten der Welle Messdaten zu erfassen, da an diesen Punkten die maximalen bzw. minimalen Strömungsgeschwindigkeiten zu erwarten sind. Für die häufige Welle mit einer Wellenperiode von 0,95 s ergibt sich bei fünf Bildern damit eine Messfrequenz von 5,26 Hz. Bei der maximalen Welle können mit dieser Überlegung 13 Bilder pro Welle aufgenommen werden. Es können also jeweils zwischen den auch bei der häufigen Welle betrachteten Punkten noch zwei zusätzliche Punkte zwischen den Extremwerten aufgenommen werden. Bei einer Wellenperiode von 2,20 s ergibt sich dann eine Frequenz von 5,91 Hz. Die zeitliche Abstimmung der PIV-Messung mit der Auslenkung des Wasserspiegels ist in Abb. 74 dargestellt.

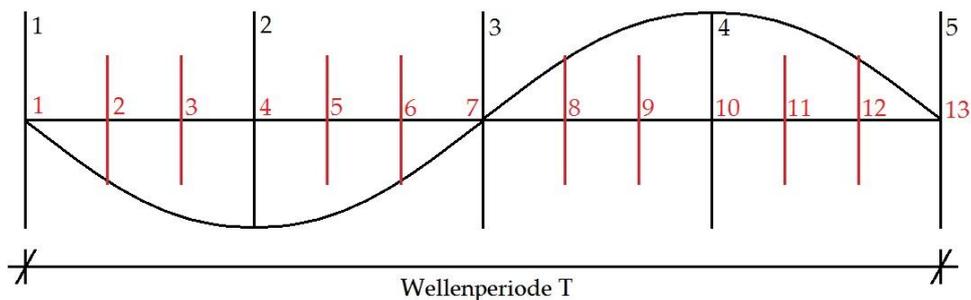


Abb. 74: Darstellung der Zeitpunkte der Bildaufnahmen in Bezug auf die Wellenperiode: häufige Welle (schwarz); maximale Welle (rot)

Ziel der Geschwindigkeitsuntersuchungen ist es zu bestimmen, inwiefern sich das Strömungsfeld aufgrund der TriPile-Struktur und insbesondere auch aufgrund des zusätzlichen Einbaus des Fischkäfigs verändert. Dies erfordert eine Variation von Messpositionen und aufgrund des transienten Wellencharakters auch der zeitlichen Komponenten. Eine Nullmessung dient der Erfassung des Strömungsfeldes ohne jeglichen Einbau. Das Ergebnis zeigt das Strömungsfeld, welches lediglich durch die Wellen verursacht wird. Ebenso interessieren jedoch auch die Strömungsfelder, die sich um die TriPile-Struktur herum einstellen. Dazu wird jeweils Messungen vor der Struktur (Position 1) und hinter der Struktur (Position 3) durchgeführt. Bei Messungen unter Berücksichtigung des AKK erfolgt die Messung nicht an Position 3 sondern anlagenbedingt alternativ an Position 4. Eine Messung zwischen den drei Pfählen des TriPiles konnte leider nicht durchgeführt werden, da

aufgrund der Pfähle keine gleichmäßige Beleuchtung zwischen diesen möglich war. So erfolgte die Untersuchung der Position 2 lediglich mit der ADV-Sonde. Um das Verhalten der Strömung um den ersten Pfahl herum genauer untersuchen zu können, wurden drei zusätzliche Positionen am ersten Pfahl betrachtet. So wurde die Ebene schräg vor und hinter dem ersten Pfahl sowie die Ebene vor dem ersten Pfahl, aber nach rechts verschoben, betrachtet. Sämtliche Positionen wurden zum Vergleich vor als auch nach Einbau des Käfigs untersucht. Die verschiedenen Positionen der Messebenen können Abb. 75 entnommen werden.

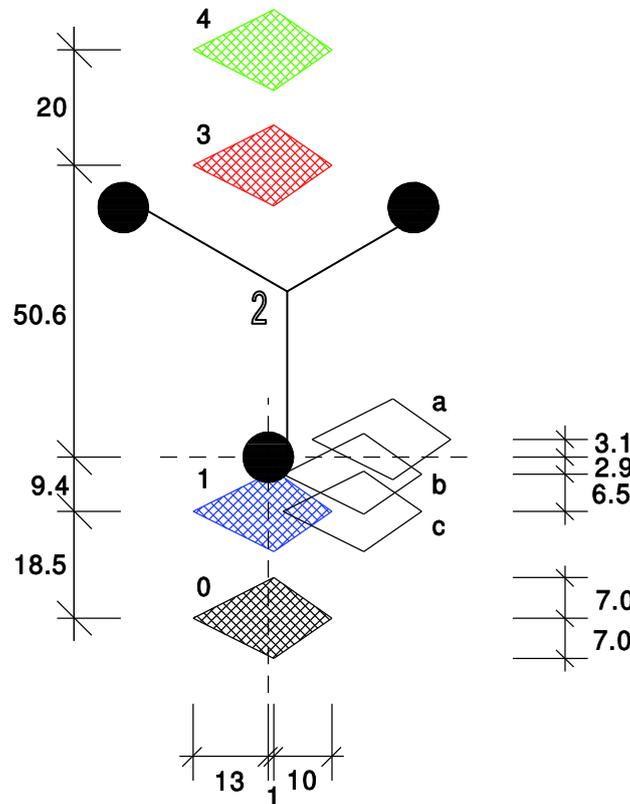


Abb. 75: Darstellung der verschiedenen Positionen der PIV-Messungen in der Draufsicht, zusätzliche Messposition des ADV im Zentrum des TriPile, Markierung 2

Zusätzlich zu den verschiedenen Positionen relativ zur Konstruktion ist auch zu untersuchen, inwiefern sich die Strömungsfelder auf verschiedenen horizontalen Ebenen verhalten, da davon auszugehen ist, dass sich die Strömung nahe der Wasseroberfläche aufgrund der theoretischen Geschwindigkeitsverteilung unter einer linearen Welle anders ausbildet als im Bereich der Gewässersohle. Für die Betrachtung der Strömungsgeschwindigkeiten sind aufgrund des Hintergrundes eines AKKs nicht, wie beispielsweise bei Kraftmessungen, nur maximale Größen der Geschwindigkeiten entscheidend, sondern auch minimale, da bei minimalen Geschwindigkeiten die Sauerstoffzufuhr und der Abtransport von Ausscheidungsmaterialien gewährleistet sein muss. Es werden zur Erfassung der Geschwindigkeiten im Rahmen der Untersuchungen daher zwei Messebenen festgelegt, die diesen Randbedingungen Rechnung tragen. Zunächst handelt es sich dabei um die Ebene an der Sohle des Käfigs, also 12,5 cm oberhalb der Sandoberfläche. Weiterhin werden die Geschwindigkeiten in der Ebene 15,0 cm oberhalb der Käfigunterseite, also etwa in Käfigmitte, untersucht. Die Betrachtung der verschiedenen Positionen werden sowohl für die maximale als auch die häufige Welle durchgeführt (vgl. Tab 48). Die Zuordnung der Versuche zu der eindeutigen Versuchsbezeichnung erfolgt über Abkürzungen in den Bezeichnungen: (m_) maximale, (h_) häufige Welle, (0.04_) oder (0.28_) Wellenhöhenangaben, (0.95_) oder (2.20_) Wellenperioden, (_ok_) ohne AKK-Einfluss, (_mk_) mit AKK-Einfluss, (_uE_) untere Messebene, (_oE_) obere Messebene sowie Zahlen 1-4 und Buchstaben a-c für die in Abb. 75 dargestellten Anordnungen.

Belastungsmessungen infolge von Aquakulturkäfigen

Allgemeiner Versuchsablauf

Zur Ermittlung der Kräfte infolge der häufigen und der maximalen Wellen werden experimentelle Untersuchungen im in Kapitel 7.3.4 beschriebenen Wellenkanal durchgeführt. Die Wellen als Randbedingung der Versuche entsprechen denen, die in Kapitel 7.3.4 erläutert werden. Die Kräfte werden über Kraftmessdosen ermittelt (vgl. Kapitel 7.3.4).

Zusätzlich zu dem Zylinderkäfig ist durch das Institut für Stahlbau ein weiterer Käfigtyp in Kugelform entwickelt worden. Beide Käfigmodelle in eingebautem Zustand sind der Abb. 76 zu entnehmen. Für jede der beiden Käfigvarianten werden nun auf der Basis der Voruntersuchungen längenskalierte Netze verwendet, die den Angaben der Meeresbiologie entsprechen und die in Kapitel 7.3.1 erläutert werden. Aufgrund von möglichem Aufwuchs auf den Netzen in der Natur wird die Anzahl der im Labor verwendeten Netzlagen variiert.



Abb. 76: Darstellung der eingebauten AKK-Varianten, (links) Zylinder-AKK mit einer Netzlage und Wellenangriffsrichtung 0° , (rechts) Kugel-AKK mit einer Netzlage

Zunächst finden Versuche statt, in denen lediglich die Rohkonstruktion des AKK unter Wellenlasten untersucht wird. Im Anschluss daran wird die erste Netzlage auf den Modell-AKK gespannt, um die Naturbedingungen zum Ersteinsatz im Feld zu simulieren. In einem letzten Schritt erfolgt die Erhöhung der Anzahl an Netzlagen auf zwei, um zu simulieren, wie sich die Lasten auf die TriPile-Struktur unter Aufwuchsbedingungen an den Netzen auf die Gesamtlasten auswirken.



Abb. 77: Befestigung und modelltechnischer Aufbau der AKK-Modelle, (links) Zylinder-AKK, (rechts) Kugel-AKK mit Kraftverteilungsebenen

Die Netze werden im Labor mittels Drahtschlingen an der Modellkäfigkonstruktion befestigt. Die AKKs besitzen statische Anschlagpunkte zur Abtragung der Wellenlasten. Die Kraftmessungen sind konzeptionell so gestaltet, dass sich bereits durch die Laborinstrumentierung eine Trennung der horizontalen und vertikalen Lasten ergibt. Die Aufteilung der horizontalen Lasten erfolgt für den Zylinder über zwei Ebenen während es aus konstruktiven Gründen für den Kugelkäfig lediglich eine horizontale Messebene gibt. Die vertikalen Lasten werden in beiden Fällen über einen Zugstab im Zentrumspunkt der TriPile-Konstruktion abgeleitet. Alle Anschlagpunkte, die zur Kraftübertragung zwischen AKK und TriPile dienen sind als Pendelstäbe mit 90° in der Kraftmessdosenachse gedrehten Gabelgelenken ausgebildet, sodass eine Aufteilung der horizontalen Kräfte in Längs- und Queranteil verhindert wird. Zur Stabilisierung der Modell-AKKs werden im Inneren der Modelle Kraftverteilungsebenen angeordnet, die eine elastisch-plastische Verformung der Käfige verhindern. Details der Befestigung der AKKs an die TriPile-Konstruktion, die Anordnung der Kraftmessdosen sowie der generelle Modelltechnische Aufbau der Modell kann der Abb. 77 entnommen werden. Aus messtechnischen Anforderungen heraus werden die Kraftmessdosen mit einem Kraftanteil bereits vor Beginn der Versuche vorgespannt, sodass eine Bewegung, Schädigung und Fehlmessungen der Kraftmessdosen ausgeschlossen werden kann. Neben einer Kalibrierung der Einzelmessdosen ist vor Beginn der Messungen ebenfalls das Gesamtsystem kalibriert worden, sodass eine Ordnungsgemäße Kraftübertragung sichergestellt werden kann. Die Kalibrierdaten sind in der Auswertung der Messungen herangezogen worden. Es hat sich jedoch herausgestellt, dass die verwendeten Kraftmessdosen einen nahezu idealen linearen Messverlauf gezeigt haben.

Auswertung der Messungen

Die Auswertung der gemessenen Kraftzeitreihen erfolgt im Zeitbereich. Zur Auswertung kommen zur exakten Bestimmung der Wellenbedingungen an der TriPile-Struktur zwei Pegel zum Einsatz, die in der Querebene der Kraftmessdosen am Rand des Wellenkanals befestigt werden. Im Zusammenspiel mit der so gemessenen Wasserspiegelauslenkung ist es möglich, den Kraftverläufen die jeweilige erzeugende Einwirkung aus Wasserstandsänderung zuzuweisen.

In einem ersten Schritt erfolgt die Zerlegung des Wasserstandssignals mithilfe der Zero-Downcrossing-Methode in einzelne Wellenberge und -täler. Durch die analoge Erfassung der Messsignale und anschließende digitale Umwandlung sind die Messwerte mit einem elektronischen Rauschen versehen. Um die Daten auswerten zu können, muss dieses Rauschen herausgefiltert werden. Um das hochfrequente Rauschen herauszufiltern, eignet sich besonders eine EEMD-Analyse

(Ensemble Empirical Mode Decomposition) des Signals. Hierbei wird das Signal in verschiedene einzelne Frequenzen zerlegt. Werden nur niedrigere Frequenzen aufaddiert, so kann die Frequenz des Rauschens herausgefiltert werden und das Signal wird bereinigt (Rilling, Flandrin, und Goncalves 2003).

Nach Filterung der Daten erfolgt für die Kraftmessungen weiterhin ein Abgleich der Datenreihen auf Nullverschiebung hin. Im Laufe einer Messung ist es insbesondere im Zusammenhang mit den Messungen an der Zylindervariante notwendig, diesen Abgleich durchzuführen, da das statische System überbestimmt ist und sich minimale Verspannungen der Aufhängung ergeben können. Nach dem Nullabgleich wird ein Bereich der Wellen ausgewählt, in dem eine ungestörte Folge an regelmäßigen Wellen die TriPile-Struktur passiert. Nach einem Detrend-Verfahren erfolgt dann die Zuordnung der minimalen und maximalen Kräfte zu den einwirkenden Wellenhöhen.

Neben den zwei Versuchsvarianten mit veränderten Wellenangriffsrichtungen erfolgen zusätzlich zu den jeweiligen Versuchsdurchführungen noch zwei Wiederholungen der Versuche, um mögliche Laboreffekte auszugleichen und ein größeres Maß an Versuchswiederholungen zur Auswertung zur Verfügung zu haben.

Zylindervariante

Die Bezeichnung der Einzelkraftmessdosen sowie eine Darstellung der Messebene erfolgt in Abb. 78. Im Rahmen der Versuche sind nicht nur die Anzahl der Netzlagen variiert worden sondern auch die Wellenangriffsrichtungen. Die Versuchsreihe 1 mit einer Ausrichtung des TriPiles unter 0° zur Wellenangriffsrichtung untersucht den Pfahl 1 mit seiner Lage direkt auf der Kanalquerachse (Abb. 78, obere linke Darstellung). Die Versuchsreihe 2 ermittelt die Kräfte des AKK auf die Struktur für den in Querachsenrichtung gespiegelten Fall, in dem die Pfähle 1 und 2 in einer Ebene zunächst von einer anlaufenden Welle erreicht werden (Abb. 78, obere rechte Darstellung). Dieses Vorgehen erlaubt es, die Kräfte parallel zur Wellenangriffsrichtung für die gespiegelten Versuchsreihenordnungen dem Betrag nach vergleichen zu können.

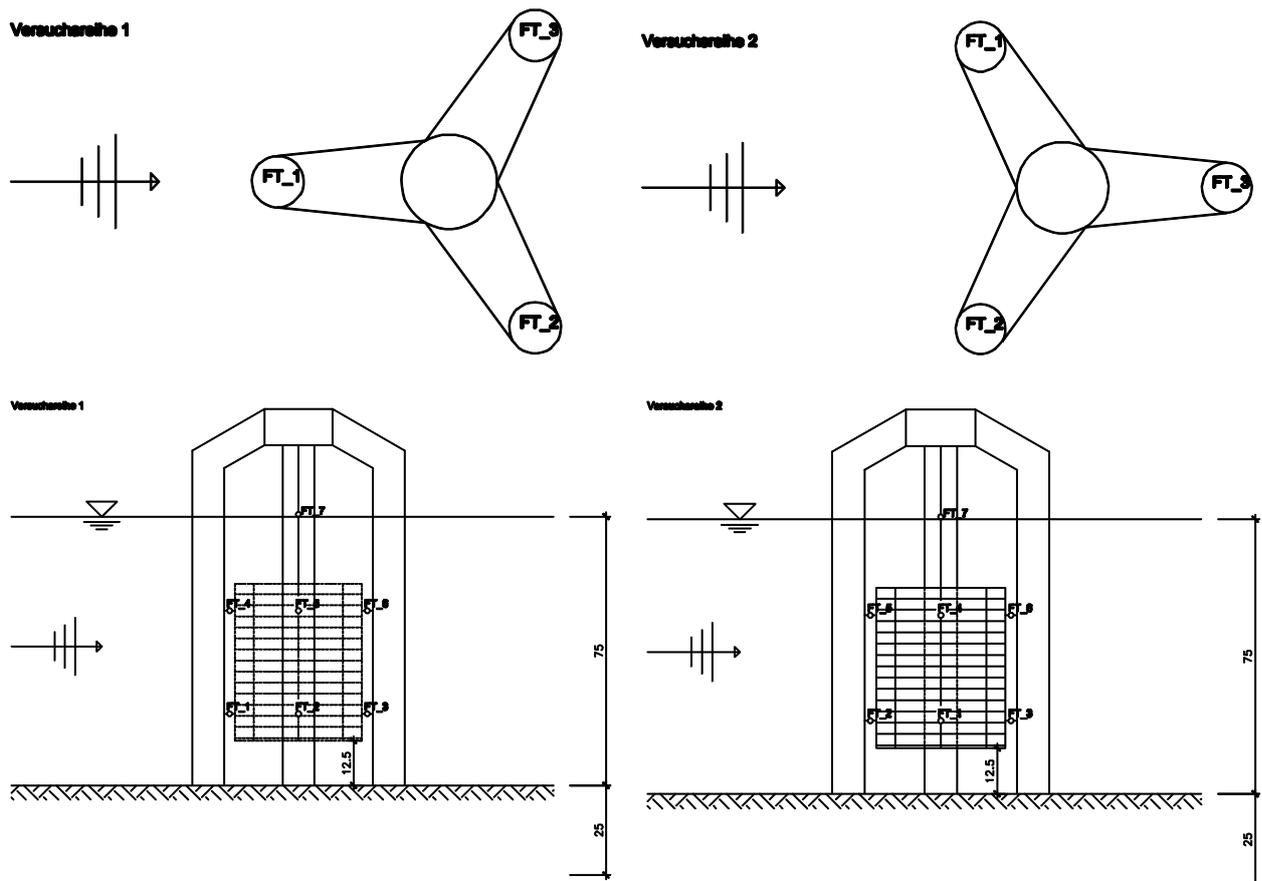


Abb. 78: Darstellung und Positionierung der Einzelkraftmessdosen und Lage am Gesamtsystems des Zylinderkäfigs, (links) Bezeichnung der Messgeräte Versuchsreihe 1 – 0°-Drehung, (rechts) Bezeichnung der Messgeräte Versuchsreihe 2 – 60°-Drehung

Kugelvariante

Die Bezeichnung der Einzelkraftmessdosen sowie eine Darstellung der Messebene erfolgt in Abb. 79. Im Rahmen der Versuche sind nicht nur die Anzahl der Netzlagen variiert worden sondern auch die Wellenangriffsrichtungen. Die Versuchsreihe 1 mit einer Ausrichtung des Tripiles unter 0° zur Wellenangriffsrichtung untersucht den Pfahl 1 mit seiner Lage direkt auf der Kanalquerachse (Abb. 79, obere linke Darstellung). Die Versuchsreihe 2 ermittelt die Kräfte des AKK auf die Struktur für den in Querachsenrichtung gespiegelten Fall, in dem die Pfähle 1 und 2 in einer Ebene zunächst von einer anlaufenden Welle erreicht werden (Abb.79, obere rechte Darstellung). Dieses Vorgehen erlaubt es, die Kräfte parallel zur Wellenangriffsrichtung für die gespiegelten Versuchsreihenarrangungen dem Betrag nach vergleichen zu können.

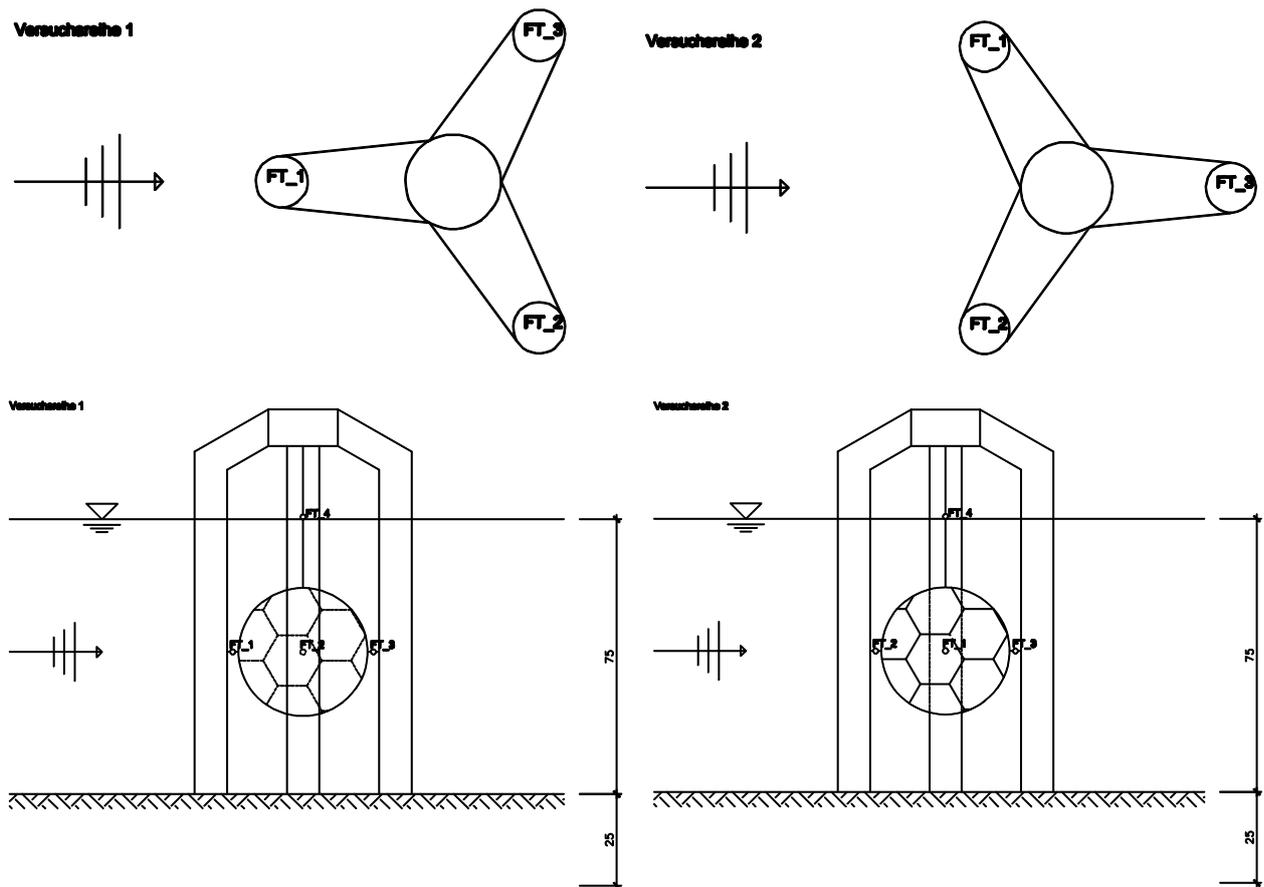


Abb. 79: Darstellung und Positionierung der Einzelkraftmessdosen und Lage am Gesamtsystem des Kugelkäfigs, (links) Bezeichnung der Messgeräte Versuchsreihe 1 – 0°-Drehung, (rechts) Bezeichnung der Messgeräte Versuchsreihe 2 – 60°-Drehung

Kolktefenermittlung

Konstruktive Ausbildung der Kolkuntersuchungen

Das Modell des TriPiles wird in einem Abstand von rd. 42,0 m zur Wellenmaschine installiert und ausgerichtet. Um die möglichen durch Wellen induzierte An- und Umströmung des Bauwerks hervorgerufenen Kolkphänomene untersuchen zu können, wird im Kanal ein Sandbett mit einer Gesamthöhe von $h_{sand}=0,25$ m künstlich hergestellt und die Struktur eingebettet (Einbindetiefe $h_E = 0,20$ m (Modell) und $h_E = 8,8$ m (Prototyp)). Als Modellsand wird ein feingestuftter Feinsand mit einer mittleren Korngröße von $d_{50} = 0,148$ mm im physikalischen Modell eingebaut. Diese Annahme entspricht grundsätzlich den bodenmechanischen Eigenschaften des Sediments am Beispielstandort Veja Mate. Es wird davon abgesehen, den Modellsand maßstabgetreu in den Laborversuchen zu skalieren, so dass die anschließenden Messergebnisse der Kolkentwicklung, -formen und -tiefen nur qualitative Aussagen und Größenordnungen hinsichtlich der Phänomenologie der physikalischen Verhältnisse am Schwerkraftfundament zulassen. Die strömungsmechanischen Verhältnisse können hingegen hydraulisch ähnlich im Wellenkanal wiedergegeben werden.

Durch zwei Rampen mit mäßigen Neigungen von 1:20 vor und hinter dem Sandbett wird ein Höhenunterschied von 0,25 m zwischen der Kanalsole und der Oberkante des Sandbettes, in welchem die Struktur eingebettet wird, ermöglicht. Für einen generellen Überblick über die Versuchsanordnung wird auf Abb. 69 verwiesen.

Die Ausrichtung und Lagefixierung des Modells auf der Kanalsole ist durch vier Abstandshalter ($\varnothing 20,0$ mm) gewährleistet. Diese Abstandshalter sind auf einer runden Aluminiumplatte ($h_{Alu} = 0,015$ m) befestigt, die durch entsprechende Rotation weitere Wellenangriffswinkel zulässt.

Über eine rechteckige Kunststoffplatte ($h_{Kunst} = 0,025 \text{ m}$) ist das Modell auf der Sohle des Wellenkanals installiert.

Diese gewählte Befestigung des Modells auf der Sohle des Wellenkanals wird ausschließlich in den Modellversuchen genutzt und ähnelt nicht den natürlichen Verhältnissen in der Nordsee, da die Analyse der Welleneinwirkungen und Strukturantworten des Fundaments bzw. Tragstruktur nicht im Vordergrund des Untersuchungsprogramms steht. Die starre Gründung der Modellstruktur ist für die Strömungsanalyse und Kolkuntersuchung unerheblich.

Versuchsdurchführung

Zur Ermittlung der Kolkflächenentwicklung werden drei Versuchsreihen mit unterschiedlichen Randbedingungen durchgeführt. Die Versuche erfolgen für die in Kapitel 7.3.4 beschriebenen maximalen Wellen mit einer Wellenperiode von $T = 2,2 \text{ s}$ und $H = 0,28 \text{ m}$. In Ergänzung hierzu wird zur Simulation einer Dünungssituation zusätzlich eine regelmäßige Welle mit $T = 3,0 \text{ s}$ und einer Wellenhöhe von $0,28 \text{ m}$ verwendet. Denn es stellt sich für die maximalen regelmäßigen Wellen mit der kürzeren Periode heraus, dass sich bereits nach einer geringen Anzahl an Wellen bereits eine wenig signifikante Ausgleichskolkfläche ergibt. Eine Übersicht über die Anzahl der generierten Wellen mit Intervall der Bildaufzeichnung sowie den Varianten ist der Tab 49 zu entnehmen.

Tab 49: Übersicht der durchgeführten Kolkversuche sowie der Intervalle der Bildaufzeichnung

Regelmäßige Wellen mit Wellenhöhe von $H = 28 \text{ cm}$ für alle Versuche		
Periode $T = 2,2 \text{ s}$ mit Käfig	Periode $T = 3,0 \text{ s}$ mit Käfig	Periode $T = 3,0 \text{ s}$ ohne Käfig
Durchführung der Bildaufzeichnung und Kolktefenerfassung nach einer Wellenanzahl von:		
250	250	250
500	500	500
750	750	750
1000	1000	1000
1250	1250	1250
1500	1500	1500
1750	1750	1750
2000	2000	2000
2500	2500	2500
3000	3000	3000
3500	3500	3500
4000	4000	4000
+500 mit $T = 3,0\text{s}$		

Bis zu einer Anzahl von 2000 Wellen ist die Bildaufzeichnung je 250 Wellen durchgeführt worden. Im Anschluss daran erfolgt die Erfassung der Kolkfläche jeweils für jede weitere 500 Wellen, da nicht zu erwarten ist, dass in diesem Bereich der Wellenbelastung eine schnelle Änderung der Kolkfläche geschieht. Nach jeder Versuchsreihe wird das Wasser aus dem Kanal abgelassen und das Sandbett wieder in den Ausgangszustand (Abziehen) zurückversetzt und anschließend erneut mit Wasser bis zur Versuchswassertiefe gefüllt. Nach jeder definierten Wellenanzahl werden mit Hilfe der fest installierten Kamera und der digitalen Kompaktkamera Bilder der Oberflächenveränderung des

Sandbettes gemacht. Zusätzlich erfolgt eine Dokumentation mittels Videoaufzeichnung. Beispielhafte Abbildungen des erfassten Bildmaterials durch die UW-Kameras sind der Abb. 80 zu entnehmen.

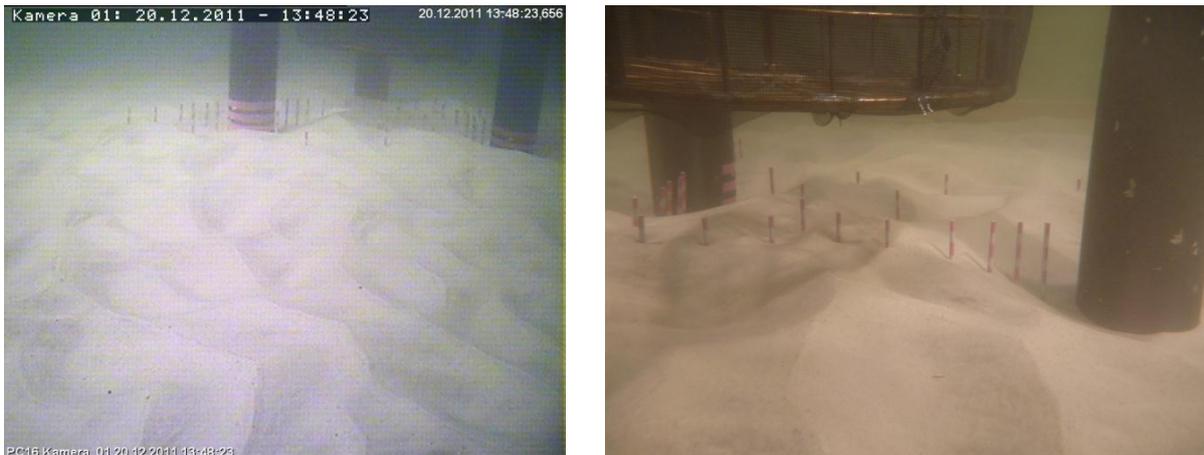


Abb. 80: Beispielhafte Darstellung der Ermittlung von Kolkiefen mittels Bilddokumentation durch UW-Kameras und Maßstäbchen an ausgewählten Positionen

Messpositionen

Im Rahmen der quantitativen und qualitativen Erfassung der Kolkiefenentwicklung mit Hilfe von Maßstäbchen und Bildaufzeichnung sind qualitative fläche Beurteilungen sowie punktuelle quantitative Beurteilungen möglich. Für die durchgeführten Kolkuntersuchungen ist grundsätzlich die TriPile-Drehung mit 0° verwendet worden, d.h. mit dem ersten Pfahl der Konstruktion in Wellenangriffsrichtung blickend. Während sich die phänomenologische Seite der physikalischen Prozesse aus dem Bildmaterial beschreiben lässt, können punktuelle Messungen an ausgewählten Positionen den Verlauf der Prozesse beschreiben. Zu diesem Zweck sind im Nahfeld der TriPile-Struktur insgesamt 46 Messpositionen festgelegt worden. Ausgehend von der Mittelachse des Wellenkanals sind diese Messpositionen verteilt worden. Zunächst befinden sich 22 Messpositionen auf der Mittelachse (Pos. 1-7, 9-23). Ein relatives Koordinatensystem identifiziert die Lage der Messpositionen untereinander.

Der Nullpunkt des Koordinatensystems befindet sich dabei in Pos. 1, die sich wiederum auf der Mittelachse des Kanals und $x = 200$ mm vor dem ersten TriPile-Pfahl befindet. Eine Darstellung aller Messpositionen ist dem Anhang **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zu entnehmen. Neben der Möglichkeit der Beurteilung der Kolkentwicklung entlang eines Schnittes in Kanallängsachse ist durch die Positionierung weiterer Maßstäbchen in Kanalquerrichtung durch den Mittelpunkt der hinteren beiden TriPile-Pfähle die Möglichkeit vorhanden, ebenfalls in Kanalquerrichtung Aussagen zu treffen (Pos. 27-33, 39, 41-46). Zusätzlich zu der Verteilung der Messpositionen entlang der beschriebenen Transsekte sind weitere Positionen in einem Raster unterhalb des AKKs sowie parallel zur Kanallängs- und -querachse verteilt worden (Pos. 24-26, 29-30, 34-37). Zur direkten Ablesung der Kolkiefen im Bereich der einbindenden Pfähle sind zusätzlich zu den Maßstäbchen ebenfalls Markierungen auf der Außenseite der TriPile-Konstruktion aufgebracht worden (Pos. 7-9, 38-40, vergl. auch Abb. 80).

7.4.5 Ergebnisse

Geschwindigkeitsuntersuchungen

Ungestörte Geschwindigkeitsfelder unter Wellen

Grundsätzlich gilt für die Darstellung der Ergebnisse, dass die hier angegebenen Geschwindigkeiten und anderen Größen im Labormaßstab angegeben werden und eine Überführung der Modellgrößen mithilfe der Ähnlichkeitstheoretischen Betrachtungen aus Kapitel 7.3.4 in Naturgrößen notwendig ist.

Zunächst soll die Entwicklung der ungestörten Strömungsgeschwindigkeiten unter Wellen untersucht und dargestellt werden. Hierzu dient die in Kapitel 7.3.4 dargestellte maximale Welle und deren Auswertung für einen Wellenberg und ein Wellental. In Abb. 81 ist das Strömungsfeld in der oberen Ebene für die maximale Welle, ohne AKK und ohne Einfluss des TriPiles (m_0.28_2.20_6.24_oK_oE_0) dargestellt. Die Geschwindigkeitsvektoren sind gleichmäßig in Kanallängsrichtung angeordnet und zeigen von der Wellenmaschine abgewandt nach vorne. Im rechten Teil des Vektorfeldes zeigen sich einige Störungen des homogen verteilten Geschwindigkeitsfeldes, die auf den Einfluss der Messeinrichtung zurück zu führen sind. Die gemessene Position 0 ist direkt vor dem TriPile, der jedoch während dieser Versuche nicht eingebaut gewesen ist.

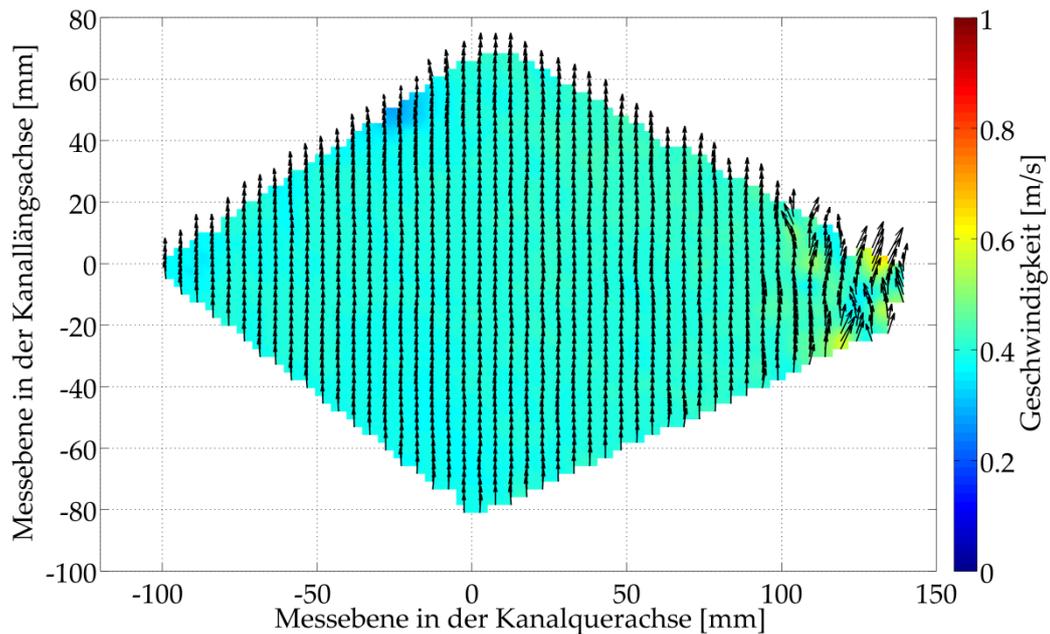


Abb. 81: Darstellung des Strömungsfeldes mittels PIV-Messung einer maximalen Welle in der oberen Ebene ohne Einfluss des TriPiles oder des AKKs, Zeitpunkt der Messung bei Durchlaufen des Wellenbergs für Versuchsbezeichnung m_0.28_2.20_6.24_oK_oE_0, Geschwindigkeit in m/s, Größe der Messebene in mm

Die auftretenden Strömungsgeschwindigkeiten liegen gleichmäßig im Bereich von rd. 0,4 bis 0,5 m/s. Lediglich im Bereich der Störungen im rechten Bildrand werden diese Geschwindigkeiten überschritten.

Demgegenüber ergibt sich für die Situation an gleicher Position während des Wellentales derselben Welle ein entgegen gesetztes Bild. Vergleichend soll daher in Abbildung 82 das entsprechende Strömungsfeld im Wellental betrachtet werden. Hierbei ist die Strömung wie im Wellenberg mit einer Geschwindigkeit von rd. 0,4~m/s gleichmäßig über die Ebene verteilt, es zeigen sich lediglich im rechten Bildrand Störungen, die eine Geschwindigkeit von bis zu 1.07~m/s aufweisen. Allerdings ist die Strömungsrichtung der im Wellenberg entgegen gerichtet. So zeigen die Vektoren nicht mehr in Wellen-, sondern in die entgegengesetzte Richtung, sodass von einer Rückströmung gesprochen werden kann.

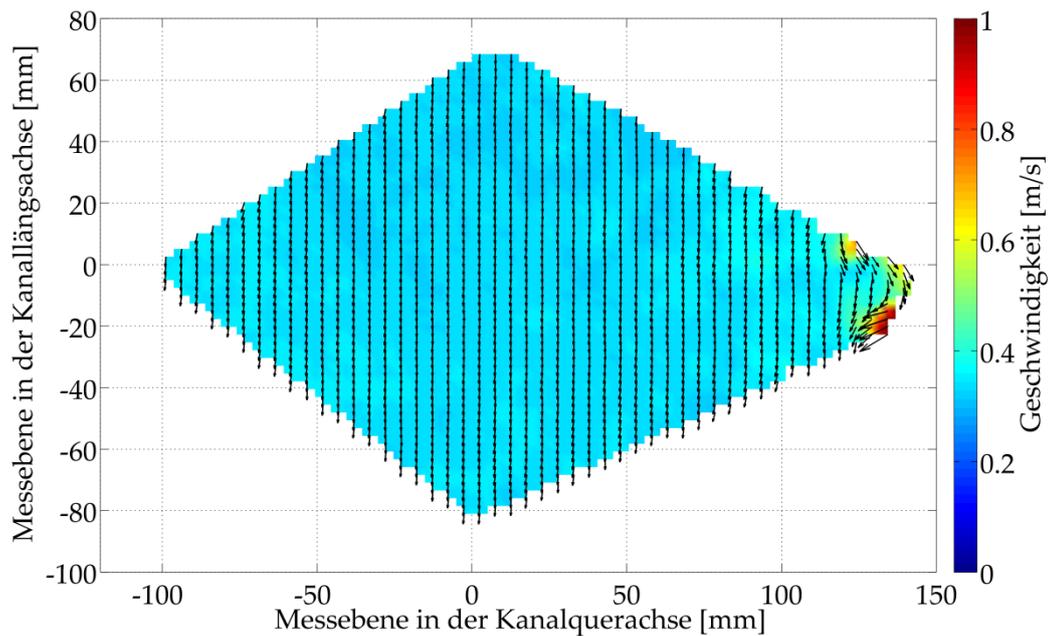


Abb. 82: Darstellung des Strömungsfeldes mittels PIV-Messung einer maximalen Welle in der oberen Ebene ohne Einfluss des TriPiles oder des AKKs, Zeitpunkt der Messung bei Durchlaufen des Wellentals für Versuchsbezeichnung m_0.28_2.20_6.24_oK_oE_0, Geschwindigkeit in m/s, Größe der Messebene in mm

Entsprechend der Orbitalbewegungen der Partikel unter einer linearen Welle zeigt sich gegenüber der Situation während des Wellenberges nun eine entgegengesetzte Geschwindigkeitsrichtung. Das Geschwindigkeitsfeld ist jedoch aufgrund fehlender Strukturen ungestört, sieht man von der minimalen Störung am rechten Ausschnitt der Beobachtungsebene ab. Die Geschwindigkeiten für die maximale Welle in der Mitte des AKKs liegen im Bereich von 0,3 – 0,4 m/s und damit leicht unter den Geschwindigkeiten die infolge des Wellenberges induziert werden.

Die theoretischen horizontalen Geschwindigkeiten beim Nulldurchgang einer linearen Welle ergeben 0,0 m/s. Während dieser Wellenphase sind allerdings die vertikalen Geschwindigkeiten maximal. Auch diese vertikalen Geschwindigkeiten können mithilfe des PIV-Messsystems ermittelt werden. Sie liegen für den oben dargestellten Fall einer maximalen Welle in der Mittelebene des Zylinderkäfigs bei rd. 0,2 m/s.

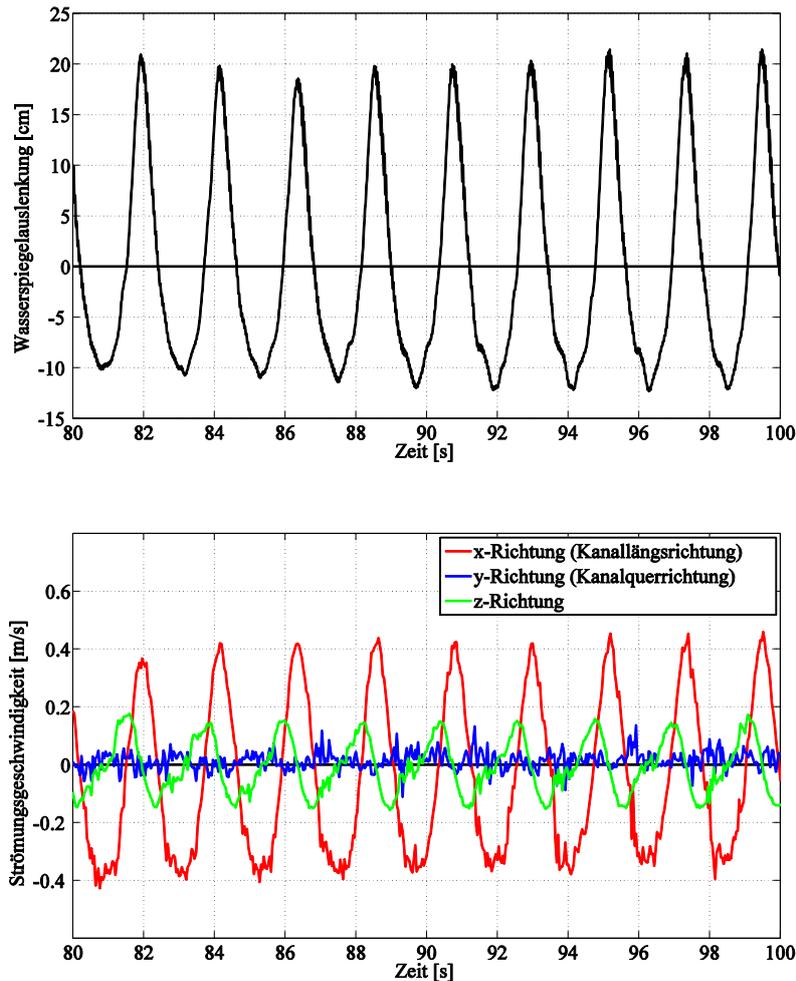


Abb.83: Vergleich der einzelnen Komponenten der Strömungsgeschwindigkeit einer ADV-Messung (unten) und der Wasserspiegelauslenkung (oben) über die Zeit [s], maximale Welle in der oberen Ebene ohne Einfluss des TriPiles oder des AKKs (m_0.28_2.20_6.24_oK_oE_0), Geschwindigkeit in m/s, Wasserspiegelauslenkung in cm für die Position 0

Ergänzend zu den PIV-Messungen erfolgen im ungestörten Fall ebenfalls ADV-Messungen. Auch bei den Ergebnissen der ADV-Messungen lässt sich die Richtungsänderung infolge der Orbitalbahnen erkennen. In Abb. 83 ist zu erkennen, dass die Strömungsgeschwindigkeiten in Kanallängsrichtung (rot) im Wellenberg und im Wellental jeweils betragsmäßig maximal sind. Durchschreitet die Welle einen Nullpunkt, ist die Geschwindigkeit in z-Richtung (grün) maximal. Da die maximalen Geschwindigkeiten in Kanallängsrichtung im Bereich von 0,4 m/s bis 0,5~m/s und die in z-Richtung bei knapp 0,2 m/s liegen, kann von einer sehr guten Übereinstimmung der Ergebnisse der PIV- und der ADV-Messungen gesprochen werden. Es zeigt sich ebenfalls, dass ein diskreter Phasenversatz zwischen den horizontalen und vertikalen Anteilen zu beobachten ist, der auf die Abweichung der Laborwellen von der linearen Theorie zurück zu führen ist.

Um die Geschwindigkeitsunterschiede in verschiedenen Wassertiefen zu untersuchen, werden auch in der unteren Ebene die Geschwindigkeiten ausgewertet (ohne bildliche Darstellung). Dabei zeigen sich allerdings ähnliche Strömungseigenschaften, wobei eine zu erwartende Geschwindigkeitsreduktion nur bedingt nachweisbar ist. So scheinen die Geschwindigkeiten für die maximale Welle ohne Beeinflussung durch TriPile oder Fischkäfig sowohl beim Wellenberg als auch beim Wellental bei rd. 0,4 bis 0,5 m/s zu liegen. Allerdings ist die untersuchte Randbedingung der maximalen Welle bereits im Übergangsbereich anzuordnen, sodass die horizontalen Geschwindigkeitskomponenten unter der Welle in größeren Tiefen verglichen mit Tiefwasserverhältnissen ebenfalls größer werden und diesen Effekt erklären

Um die Unterschiede zwischen der oberen und unteren Ebene genauer untersuchen zu können, werden die genauen Geschwindigkeitsverläufe einzelner Partikel aus den Messebenen 12,5 cm über dem Boden und in der Mitte des Zylinderkäfigs betrachtet. Abb. 84 zeigt den zeitlichen Verlauf der Geschwindigkeiten für eine maximale Welle im Vergleich zwischen den gewählten Messebenen auf. In Kanallängsrichtung ergibt die Auswertung der Messungen, dass die Geschwindigkeiten in der oberen und unteren Ebene geringe Abweichungen von rd. 1 % aufweisen. Es zeigt sich jedoch auch, dass die Maxima der Geschwindigkeiten phasenversetzt liegen. Lediglich in einzelnen Punkten insbesondere im Wellental und im Wellenberg beträgt die Abweichung bis zu 20 %. Die Geschwindigkeiten in Kanalquer- und in z-Richtung zeigen sich wesentlich weniger gleichmäßig. Die Geschwindigkeiten zeigen auch hier die gleiche Größenordnung. Während die Kanalquerrichtung an dieser Stelle aufgrund des 2D-Charakters der Versuche nicht relevant ist, ist mit zunehmender Wassertiefe eine deutliche Abnahme der vertikalen Geschwindigkeiten zu verzeichnen, die darauf hinweist, dass sich in diesen Wassertiefen auch während Extremereignissen die Bedingungen aus Strömungsgeschwindigkeiten für aquatische Lebewesen verbessern.

Bei den untersuchten häufigen Wellen zeigt sich ein qualitativ identisches Strömungsverhalten, die Strömungsgeschwindigkeiten sind jedoch quantitativ geringer. Die maximalen Geschwindigkeiten infolge einer häufigen Welle in der oberen Ebene liegen lediglich noch bei rd. 0,05 m/s. Um die Strömungsgeschwindigkeiten der häufigen Welle mit denen der maximalen Welle besser vergleichen zu können, sind die Komponenten der Geschwindigkeit für einzelne Partikel in Abb. 85 über die Zeit vergleichend dargestellt.

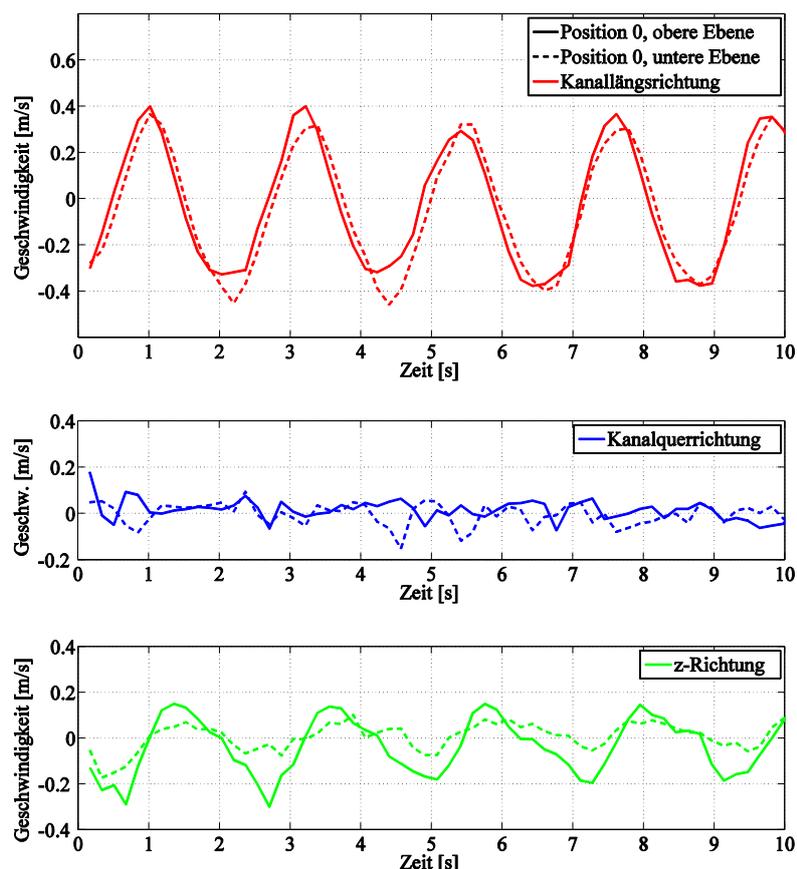


Abb. 84: Vergleich der einzelnen Komponenten der Strömungsgeschwindigkeit einer PIV-Messung eines betrachteten Untersuchungsfensters der Strömungsfelder in der oberen (durchgezogen) und in der unteren Ebene (gestrichelt), Maximale Welle ohne Einfluss des TriPiles oder des Fischkäfigs, Darstellung der Geschwindigkeit [m/s] über die Zeit [s]

Es zeigt sich, dass die Strömungsgeschwindigkeiten der häufigen Welle wesentlich geringer sind als die der maximalen Welle. So ist die Strömungsgeschwindigkeit in z Richtung bis zu zwei Mal so groß, wie die der häufigen Welle, in Kanallängsrichtung sogar bis zu vier Mal so groß. Weiterhin wird

deutlich, dass dadurch, dass die häufige Welle eine deutlich kürzere Wellenperiode aufweist, auch die Richtung der Geschwindigkeit dieser wesentlich häufiger wechselt. So findet der Richtungswechsel der häufigen Welle zweimal in einer Sekunde statt, während dieser bei der maximalen Welle nur einmal in zwei Sekunden auftritt. Die geringere Frequenz bzw. auch die geringere Amplitude der häufigen Welle wirkt sich also direkt auf den Geschwindigkeitsverlauf aus und lässt ebenfalls Rückschlüsse auf die zu kultivierenden Organismen aus. Eine Beurteilung der Auswirkungen der Geschwindigkeiten ist allerdings nicht Gegenstand der Untersuchungen.

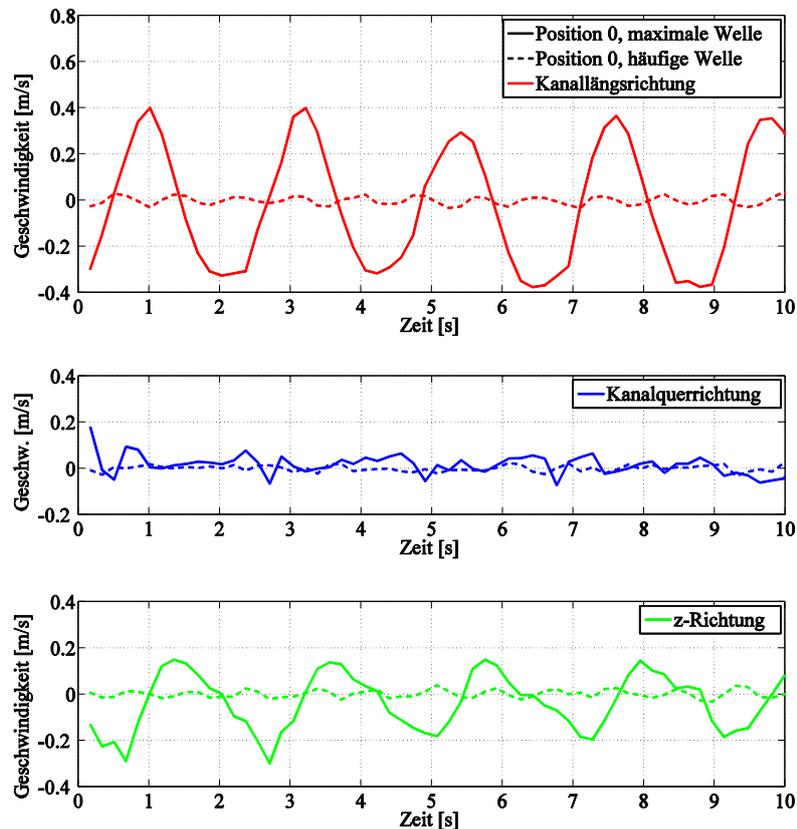


Abb. 85: Vergleich der einzelnen Komponenten der Strömungsgeschwindigkeit einer PIV-Messung eines betrachteten Untersuchungsfensters der Strömungsfelder in der oberen Ebene der häufigen (gestrichelt) und der maximalen Welle (durchgezogen), Maximale Welle ohne Einfluss des TriPiles oder des Fischkäfigs, Darstellung der Geschwindigkeit [m/s] über die Zeit [s]

Einfluss der TriPile-Struktur auf die Geschwindigkeitsfelder

Im Weiteren soll untersucht werden inwieweit sich lokale Änderungen des Geschwindigkeitsfelders im Bereich der TriPile-Pfähle auf die Entwicklung der maximalen Geschwindigkeiten auswirken. Hierzu wird zunächst die Position a, die in Abb. 75 eingetragen ist, in der Mittelebene des Käfigs betrachtet. Im Zusammenhang mit der Ermittlung der Geschwindigkeiten ist auszuschließen, dass das Kameragehäuse mit den Modellpfählen interagiert und eine gegenseitige Beeinflussung ausgeschlossen ist. Hierzu ist mithilfe von zusätzlichen Versuchen eine hierfür optimale Position (Pos. a) ermittelt worden, die in der Folge analysiert wird.

Abb. 86 stellt ein Geschwindigkeitsfeld zum Zeitpunkt des Wellenberges für eine maximale Welle in der Position a dar. Die Blickrichtung der Darstellung liegt dabei entgegen der Erdbeschleunigung. Die Kamerasektionen des PIV haben für diesen Fall einen Abstand von rd. 60 cm zum ersten Pfahl des TriPiles, sodass die Beeinflussung der Strömung durch die Kamerasektionen im Wesentlichen ausgeschlossen ist. Es zeigt sich auf der rechten Seite des Strömungsfeldes (nahe des Pfahls) eine starke Geschwindigkeitszunahme. Im restlichen Teil des Geschwindigkeitsfeldes sind wie schon für den ungestörten Fall der maximalen Wellen gleichmäßig gerichtete Geschwindigkeiten in Wellenlaufrichtung zu verzeichnen. Im Bereich des Pfahls ist jedoch eine deutliche Erhöhung der Geschwindigkeiten zu verzeichnen, die sich im Nachlauf des Pfahls in Richtung eines möglichen AKKS

ausbreiten könnten. Auf der gegenüberliegenden linken Seite, auf der sich die Kameras befinden, ergibt sich eine gleichmäßige Verteilung geringerer Geschwindigkeiten. Dies legt nahe, dass die keine signifikante Beeinflussung durch die Kamerasektionen hervorgerufen wird und die Messkonfiguration für eine Beurteilung der Geschwindigkeiten geeignet ist.

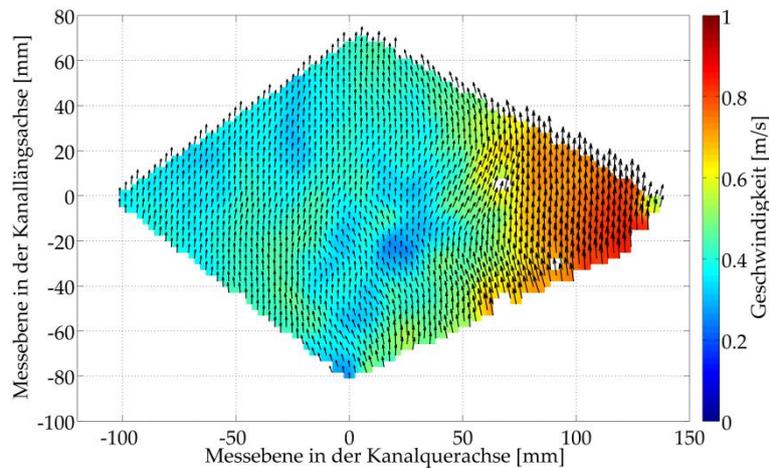


Abb. 86: Darstellung eines Strömungsfeldes einer PIV-Messung für eine maximale Welle in der oberen Ebene schräg hinter dem ersten Pfahl des TriPiles ohne Fischkäfig (Pos. a), Wellenberg des Versuches m_0.28_2.20_6.24_oK_oE_a, Geschwindigkeit in m/s, Größe der Messebene in mm, Bezug zur Kanalquerachse mit yshift = 21 cm zur Kanalmitte

Wird die sich direkt am Pfahl befindliche Messebene b untersucht, sind die Kameras rd. 55 cm entfernt und haben somit auch noch einen geringeren Einfluss als dies bei Position 1 der Fall ist. Abb. 87 stellt einen Ausschnitt des Strömungsfeldes einer maximalen Welle zum Zeitpunkt eines Wellenberges an Position b dar. Im rechten Bildbereich ist der Pfahl durch die runde Form der Strömungsfeldbegrenzung erkennbar. Die Blickrichtung ist entgegen gesetzt zur Erdbeschleunigung. Bei der Analyse der Geschwindigkeiten wird zum einen eine sich mit dem Abstand zum Pfahl verringernde Geschwindigkeitszunahme deutlich und zum anderen wird deutlich das infolge des Pfahls eine starke lokale Änderung des Geschwindigkeitsrichtung zu verzeichnen ist. Es treten in dieser Phase des Wellendurchgangs maximale Geschwindigkeiten von bis zu 0,83 m/s im Bereich des Pfahls auf. Diese Geschwindigkeiten sind insbesondere im seitlichen Bereich des Pfahls festzustellen, wobei mithilfe des PIV-Systems derzeit keine Untersuchungen vorliegen, die den Fokus auch auf die Pfahlinnenseite legen könnten. Hierzu wären weitere Untersuchungen notwendig. Eine Information über diesen Bereich der Pfahlumströmung bei einem Durchgang von Wellen ist allerdings an dieser Stelle für die Beurteilung der Geschwindigkeiten im Zusammenhang mit AKKs nur sekundär, da nicht zu erwarten ist, dass eine weitere signifikante Geschwindigkeitszunahme in diesem wellenabgewandten Bereich des Pfahls erfolgt. In Kapitel 7.3.5 wird auf die Auswirkungen des AKK auf die Strömung weiter eingegangen und es werden Änderungen auf die Geschwindigkeitsniveaus im und am AKK diskutiert und quantifiziert.

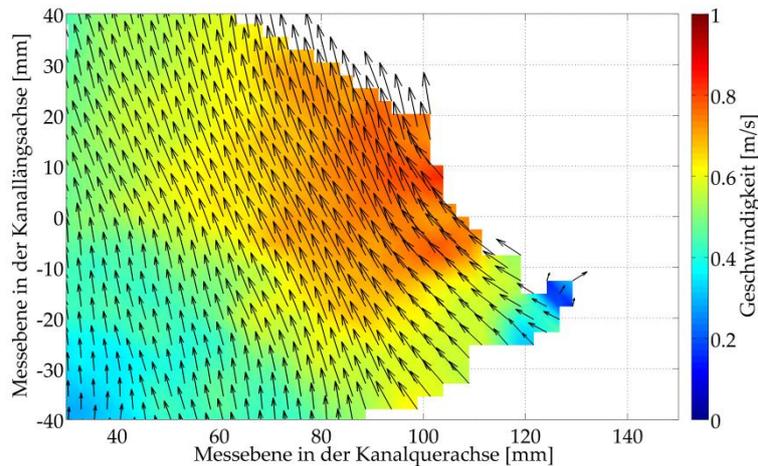


Abb. 87: Darstellung eines Ausschnitt des Strömungsfeldes einer PIV-Messung für eine maximale Welle in der oberen Ebene schräg vor dem ersten Pfahl des TriPiles ohne Fischkäfig (Pos. b) zum Zeitpunkt eines Wellenberges für den Versuches m_0.28_2.20_6.24_oK_oE_b, Geschwindigkeit in m/s, Größe der Messebene in mm, Bezug zur Kanalquerachse mit yshift = 16 cm zur Kanalmitte

Zusätzlich zu der durch den Pfahl hervorgerufenen Beeinflussung der maximalen Strömung ändern sich auch die minimalen Geschwindigkeiten im Zusammenhang mit der unteren Messebene 12,5 cm über dem Sandbett bei maximalen Wellenhöhen. In Abb. 88 ist zur Verdeutlichung daher ein Vektorfeld zum Zeitpunkt zwischen Wellental und dem Nulldurchgang dargestellt (siehe Abb. 74), z.B. Zeitpunkt 8 oder 9). Während sich ohne Beeinflussung durch den TriPile die Strömung in erster Linie in Kanallängs- und z-Richtung ausbildet, ist in diesem Fall und bei Vorhandensein der Pfähle des TriPiles eine erkennbare Strömungsbildung in Kanalquerrichtung zu bemerken. Die Maxima der Geschwindigkeiten im Zusammenhang mit dieser Phase des Wellendurchgangs am TriPile in der dargestellten Messebene und –konfiguration ergibt Werte bis zu 0,37 m/s. Gleichzeitig zeigt sich, dass entgegen der Ergebnisse für eine ungestörte Welle nun eine Wirbelbildung zu verzeichnen ist, die lokale zeitveränderliche Richtungsänderungen der Geschwindigkeiten mit sich bringen. Dieser Effekt infolge der Interaktion von TriPile-Struktur und Wellen ist meeresbiologisch zu beurteilen, um negative Effekte auf das Wohlergehen der zu züchtenden Organismen zu vermeiden. Es ist zu erwarten, dass die Wirbelbildung mit Abnahme des Abstands zur Ruhewasserlinie abnehmen wird. Im unteren Bereich des Käfigs, der in Abb. 88 dargestellt ist, ist eine Tendenz zur Wirbelbildung jedoch gegeben. Dies legt die Vermutung nahe, dass sich einzelne groß-skalige Wirbelstrukturen auch bis in den inneren Bereich des AKK fortpflanzen könnten.

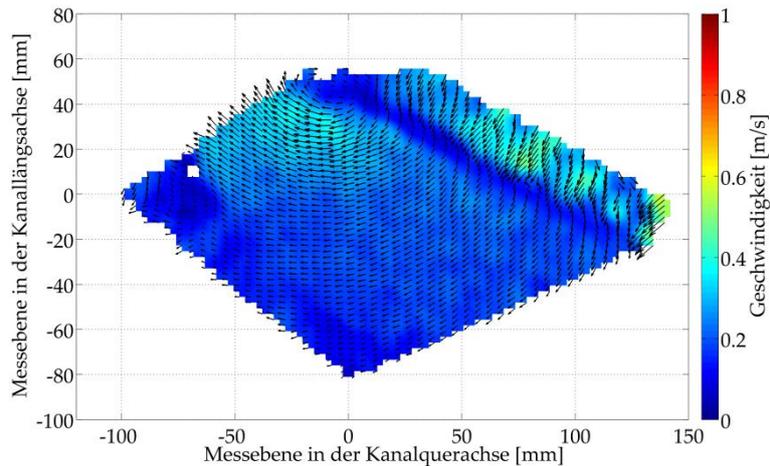


Abb. 88: Darstellung eines Strömungsfeldes einer PIV-Messung für eine maximale Welle in der unteren Ebene direkt vor dem TriPile ohne Fischkäfig (Pos. 1), Zeitpunkt zwischen Wellental und Nullpunkt des Versuches (Zeitpunkt 8 oder 9), Versuchsbezeichnung m_0.28_2.20_6.24_oK_uE_1, Geschwindigkeit in m/s, Größe der Messebene in mm, Bezug zur Kanalquerachse mit yshift = 1 cm zur Kanalmitte

Für das Wellental als auch für die untere Ebene zeigt sich das Strömungsbild entsprechend (hier ohne Darstellung). Die Vektoren sind bei gleicher Magnitude im Wellental lediglich in die entgegengesetzte Richtung orientiert. Auch für die häufige Welle zeigt sich das Strömungsverhalten identisch. Die Geschwindigkeiten sind dabei mit durchschnittlich 0,05 m/s zum Zeitpunkt des Wellenberges allerdings wesentlich geringer.

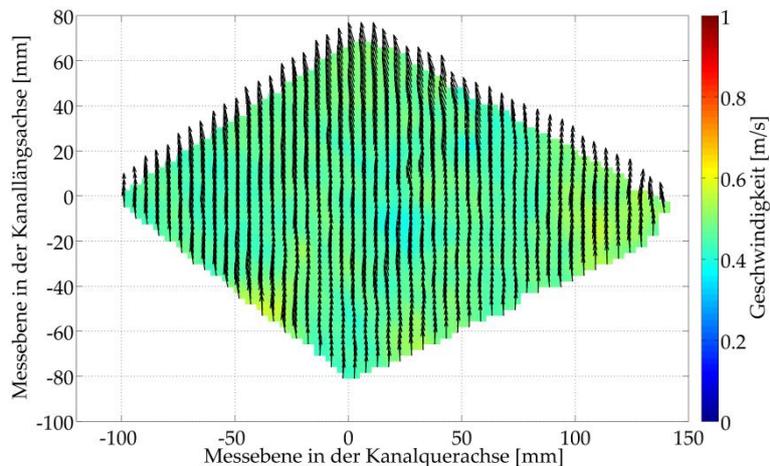


Abb. 89: Darstellung des Strömungsfeldes einer PIV-Messung für eine maximale Welle in der oberen Ebene hinter dem TriPile ohne Fischkäfig (Pos. 3), Wellenberg des Versuches m_0.28_2.20_6.24_oK_oE_3, Geschwindigkeit in m/s, Größe der Messebene in mm, Bezug zur Kanalquerachse mit yshift = 1 cm zur Kanalmitte

Hinter dem TriPile an Messposition 3 wird ebenfalls eine Strömungsbeeinflussung deutlich. So zeigt sich zwar generell ein ähnliches Strömungsverhalten wie das ohne TriPile, die Strömung ist aber merklich unruhiger. Abb. 89 verdeutlicht dies. Es ist erkennbar, dass die Vektoren nicht mehr ausschließlich in Kanallängsrichtung zeigen, sondern auch unregelmäßige Komponenten in Kanalquerrichtung aufweisen. Dies lässt darauf schließen, dass auch durch die beiden hinteren Pfähle des TriPiles eine Strömungsumlenkung ähnlich der am ersten Pfahl stattfindet und sich Nachlaufwirbel nach Durchgang der Welle hinter der Struktur ausbilden.

Um quantitativ überprüfen zu können inwiefern sich die Geschwindigkeit vor und hinter der Struktur unterscheidet, ist in Abb. 90 die Geschwindigkeit eines Messpunktes der Messposition 3 vergleichend mit einem in identischer Achse liegenden Messpunktes aus Messposition 0 dargestellt (für Lage der Messpositionen vgl. Abb. 75). Es zeigt sich hierbei, dass obwohl sich die Geschwindigkeiten in der Ebenendarstellung des Strömungsfeldes hinter dem TriPile unruhiger zeigen als dies noch ohne

Beeinflussung durch den TriPile der Fall war (vgl. Kapitel 7.3.5), die Geschwindigkeitskomponenten nahezu identisch sind. Es kann daher grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass das alleinige Vorhandensein des TriPiles im umgebenden Nahfeld des TriPiles keinen signifikanten Einfluss auf und Änderungen des Geschwindigkeitsfeldes nach sich zieht.

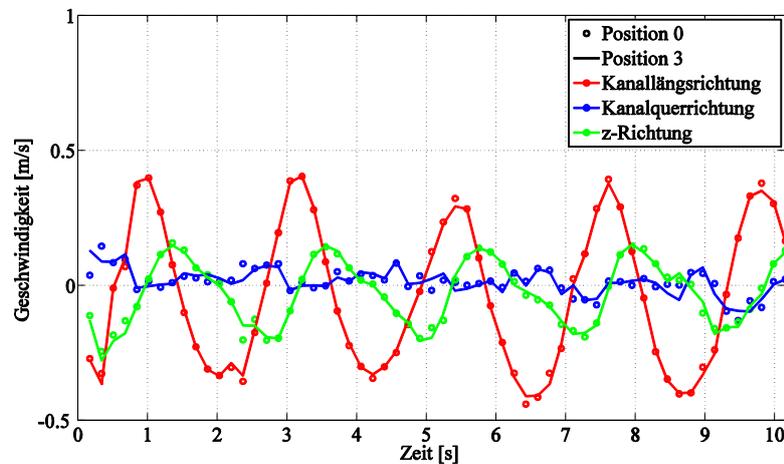


Abb. 90: Vergleich der einzelnen Komponenten der Strömungsgeschwindigkeiten einer maximalen Welle mit Beeinflussung des TriPiles (Pos. 0, geometrische Mitte des Messfeldes) und hinter dem TriPile (Pos. 3, geometrische Mitte des Messfeldes) für die x-, y- und z-Komponenten der Geschwindigkeit

Änderung des Strömungsfeldes infolge von AKK

Zur Untersuchung der Auswirkung von AKKs auf die Strömungseigenschaften werden verschiedene Positionen untersucht. Für diese detaillierte Untersuchung der Geschwindigkeitsänderungen wird der aus wirtschaftlicher Betrachtung interessanteste AKK in Zylinderausbildung herangezogen. Die wesentlichen Gesichtspunkte lassen sich in der Folge auch auf die Kugelvariante quantitativ übertragen. Die Messposition 1 als die Ebene direkt vor dem Pfahl und die Positionen a bis c als Messpositionen rechts vom ersten Pfahl werden zunächst im Vergleich betrachtet. Es wird analysiert, inwiefern sich Änderungen der Geschwindigkeiten infolge des Zylinderkäfigs ergeben. Die Betrachtungsweise fokussiert dabei insbesondere auf die Änderung von Strömungsgeschwindigkeiten in einzelnen Messpunkten, die aus den flächigen Ergebnissen der PIV-Messungen entnommen werden können.

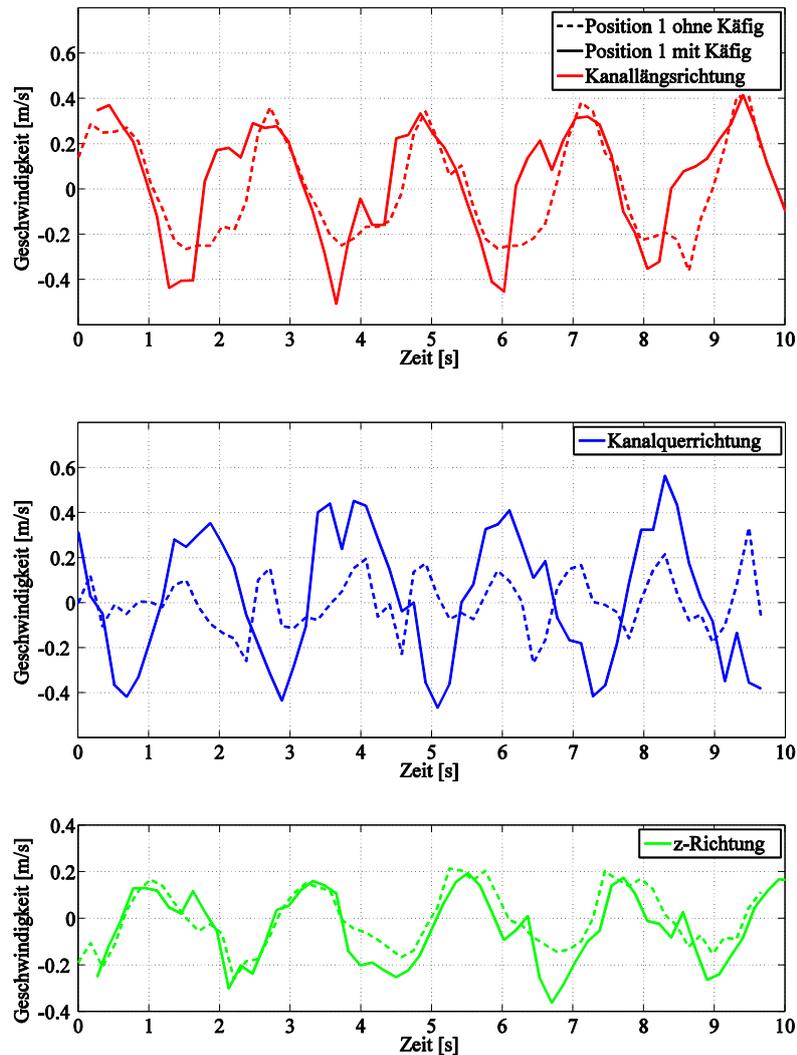


Abb. 91: Vergleich der einzelnen Komponenten der Strömungsgeschwindigkeit einer PIV-Messung eines betrachteten Untersuchungsfensters mit Zylinder-AKK (durchgezogen) und ohne Zylinder-AKK (gestrichelt) für eine maximale Welle in der oberen Messebene direkt vorm ersten Pfahl des TriPiles, Darstellung der Geschwindigkeit [m/s] über die Zeit [s]

Abb. 91 zeigt die Auswirkungen des Einbaus eines AKKs auf die Komponenten der Strömungsgeschwindigkeiten vor dem TriPile an Messposition 1 in der geometrischen Mitte des Messfeldes. Es zeigen sich in Kanallängsrichtung mit als auch ohne Käfig maximale Geschwindigkeiten von rd. 0,4 m/s. Grundsätzlich zeigt sich zwischen den x- und y-Komponenten der Geschwindigkeit der aus der Orbitalbewegung der Wasserpartikel herrührende Phasenversatz. Die Phasendauer der maximalen Geschwindigkeit in Kanallängsrichtung länger. Es bildet sich mit Blick auf die Geschwindigkeiten eine zeitliche Asymmetrie aus, die möglicherweise einen Nettoversatzweg für im Wasserkörper befindliche Lebewesen haben kann, sofern diese nicht in der Lage sind, sich der versetzenden Einwirkung zu widersetzen. Zum Zeitpunkt des Wellentals vergrößert sich durch den Einfluss des Käfigs die Geschwindigkeit der gegen die Wellenausbreitungsrichtung zeigenden Geschwindigkeitskomponenten (Rückströmung) von rd. 0,3 m/s auf rd. 0,5 m/s. Bei gleichzeitig kürzere Dauer der maximalen Geschwindigkeit, scheint sich die Rückströmung durch den Käfigeinbau intensiviert zu haben.

Ähnliches ist auch bei der Geschwindigkeit in z-Richtung (Vertikale des Käfigs) zu beobachten. Während der Verlauf der Geschwindigkeiten mit als auch ohne Käfig sehr ähnlich ist, zeigen sich bei der Rückströmung zum Zeitpunkt des Wellentals höhere Geschwindigkeiten von bis zu 0,4 m/s. Auch in Kanalquerrichtung ist ein signifikanter Unterschied der Strömungsgeschwindigkeit zu verzeichnen. So zeigt der Verlauf der Geschwindigkeit in Kanalquerrichtung wesentlich größere Fluktuationen und

die Geschwindigkeiten im Wellental erhöhen sich von rd. 0,1 m/s auf rd. 0,3 m/s. Dies ist bei weiteren Untersuchungen und für die weiteren Arbeitsgruppen zu beachten, da hierdurch davon ausgegangen werden kann, dass sich auch die seitlichen Belastungen und Kräfte auf die Pfähle des TriPiles deutlich erhöhen. Die Geschwindigkeitszunahme im Wellental bei gleichzeitig weitgehend gleich bleibender Geschwindigkeit im Wellenberg hängt auch mit dem möglichen Wasseraufstau vor dem Käfig zusammen. Der AKK hat zum einen eine erhöhte Auswirkung auf die Geschwindigkeit der Rückströmung im Wellental, zum anderen auch auf den Verlauf der Geschwindigkeit in Kanalquerrichtung und vertikale Richtung.

Die Strömungsänderung aufgrund eines zylindrischen AKK zwischen den Pfählen des TriPiles (Pos. 2) bzw. innerhalb des AKKs konnte nicht mit Hilfe des PIV untersucht werden. Aufgrund der Pfähle als auch aufgrund des AKKs war eine homogene Beleuchtung einer Ebene mittels des aufgeweiteten Laserstrahls aus messtechnischer Sicht nicht unproblematisch, sodass aus diesem Grund ADV-Messungen in den beiden Ebenen durchgeführt werden. So konnten punktuelle Geschwindigkeiten und deren Änderungen erfasst werden. In Abb. 92 sind die drei Strömungsgeschwindigkeitskomponenten x, y, z für eine maximale Welle in der oberen Ebene mit und ohne AKK vergleichend dargestellt.

Die Strömungsgeschwindigkeiten weisen mit und ohne Käfig einen grundsätzlich ähnlichen Verlauf auf. So verlaufen beispielsweise die Geschwindigkeiten in Kanallängsrichtung ähnlich und weisen beide maximale Geschwindigkeiten von rd. 0,5 m/s auf. Die rechnerisch ermittelte Abweichung der Geschwindigkeit mit Käfig zu der ohne Käfig in diesem Bereich beträgt durchschnittlich 6 %. Das bedeutet, dass sich die Geschwindigkeit innerhalb des Käfigs durch den Käfigeinbau zwar verringert hat, die Dämpfung bzw. Verringerung der Geschwindigkeiten innerhalb des Käfigs jedoch eher gering ausfällt. Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass die Geschwindigkeiten in Kanalquerrichtung, die vor der TriPile-Struktur signifikante Werte aufgewiesen haben, im Innern des AKK deutlich zurückzugehen scheinen. Von einem Niveau von $\pm 0,4$ m/s verringern sich diese Geschwindigkeiten auf rd. $\pm 0,1$ m/s signifikant. Während die Geschwindigkeiten in die z-Richtung zahlenmäßig auf einem identischen Wert im Vergleich zur Position 1 vor der Struktur verbleiben, erhöht sich allerdings die in Wellenlaufrichtung gerichtete Geschwindigkeit innerhalb des AKK um rd. 20 % auf Werte um $\pm 0,5$ m/s. Dieser Wert ist aus meeresbiologischen Betrachtung und Sicht als Beurteilungswert zu verstehen.

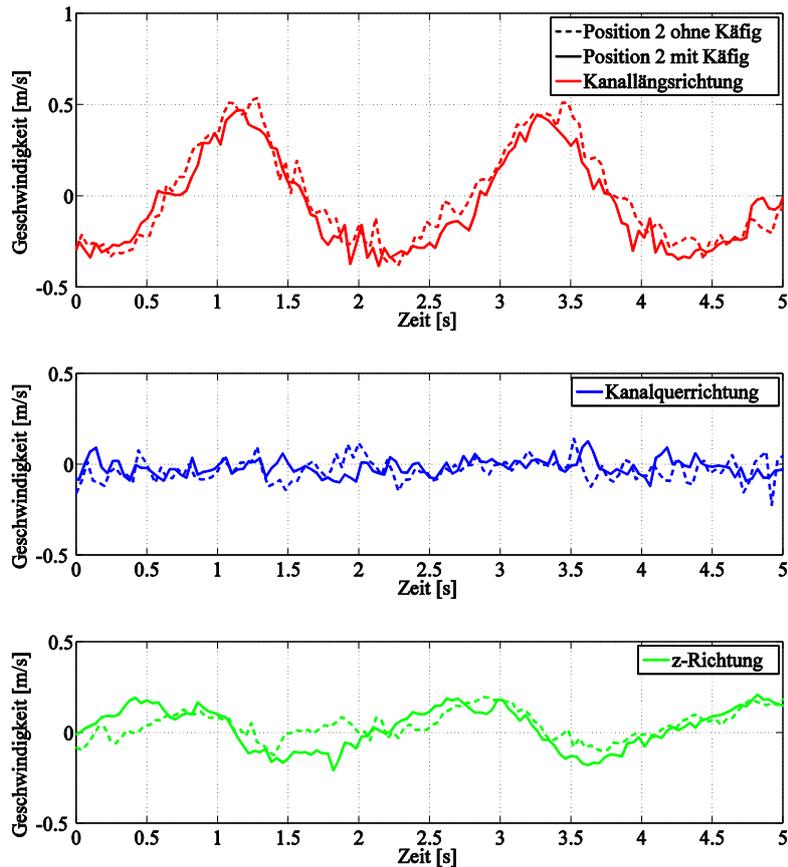


Abb. 92: Vergleich der einzelnen Komponenten der Strömungsgeschwindigkeit einer ADV-Messung eines betrachteten Untersuchungsfensters mit Zylinder-AKK (durchgezogen) und ohne Zylinder-AKK (gestrichelt) für eine maximale Welle in der oberen Messebene im horizontalen Zentrumspunkt des TriPiles, Darstellung der Geschwindigkeit [m/s] über die Zeit [s]

Schlussendlich findet auch die Position 3 bzw. 4 im Rahmen dieser Betrachtungen noch Erwähnung. Für Position 3 gilt, dass an dieser Stelle keine Untersuchung mittels PIV-Messsystem mit eingebautem Käfig möglich war, da der Käfig den Blick der Kameras auf die entsprechende Ebene versperrte. So wird für die Variante mit eingebautem Zylinder-AKK die nächste mögliche Position 4, untersucht. Diese befindet sich 20,0 cm hinter der Position 3. An dieser Stelle ist allerdings davon auszugehen, dass der Einfluss durch den AKK verringert ist. Dies bestätigt sich bei der Betrachtung der Geschwindigkeitsfeldes.

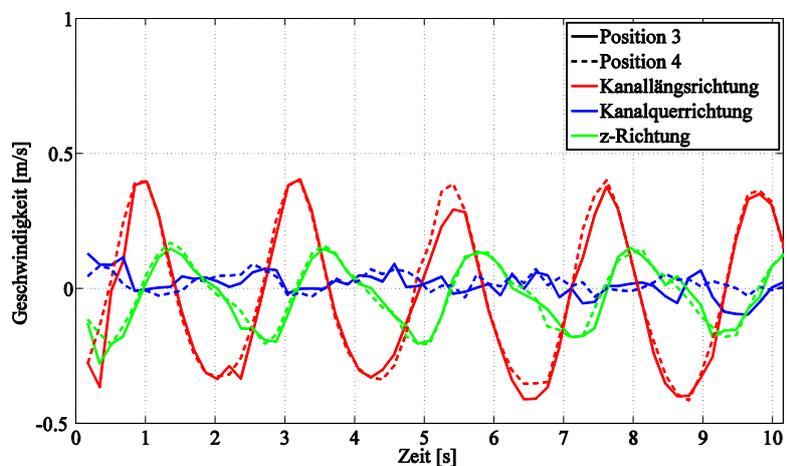


Abb. 93: Vergleich der einzelnen Komponenten der Strömungsgeschwindigkeiten einer maximalen Welle hinter dem TriPile ohne (Position 3) und mit Fischkäfig (Position 4)

Abb. 93 verdeutlicht die Geschwindigkeitsmessungen an den Positionen 3 und 4 für die drei Raumrichtungen für die obere Messebene in der vertikalen Mitte des AKK. Die Änderungen infolge eines eingebauten AKK sind im Abschattungsbereich des TriPiles sowie des AKK verhältnismäßig gering und liegen im einstelligen Prozentbereich. Tendenziell sind geringere Strömungsgeschwindigkeiten zu messen als innerhalb des AKK, die somit beurteilungsrelevant werden.

Für die häufige Welle zeigen sich die Ergebnisse entsprechend (ohne Darstellung). Vor dem TriPile erhöht sich nach Einbau des Käfigs die Geschwindigkeit im Wellental, zwischen den Pfählen als auch hinter dem TriPile zeigt sich keine signifikante Veränderung der Strömungsgeschwindigkeiten. Sie sind mit maximal 0,05 m/s wesentlich geringer als die der maximalen Welle. Eine signifikante Veränderung gegenüber dem Fall ohne eingebauten AKK ist nicht nachweisbar.

Weiterhin stellt sich heraus, dass durch den Einbau des Fischkäfigs eine Tendenz zur Aufstauung des Wasserspiegels vor dem TriPile stattfindet, sodass eine Geschwindigkeitserhöhung der Rückströmung entsteht, sich die Dauer der maximalen Geschwindigkeit im Wellenberg verlängert und sich ein unregelmäßigerer Verlauf der Strömung in Kanalquerrichtung einstellt.

Einordnung der Versuchsergebnisse

Die Ergebnisse aus den hydraulischen Modellversuchen werden mit Hilfe von Ergebnissen aus theoretischen Geschwindigkeitsberechnungen verifiziert. Mit Hilfe der linearen Wellentheorie und der Theorie nach Stokes, 2. Ordnung, können die Strömungsgeschwindigkeiten berechnet und mit den Geschwindigkeiten aus den hydraulischen Modellversuchen verglichen werden. Die Theorie nach Stokes liefert aufgrund des Charakters der im Versuchskanal generierten Wellen die genaueren Ergebnisse.

Tab. 50: Übersicht der Verhältnisse der experimentell mittels PIV- und ADV-Messungen und theoretisch mit der linearen Theorie und Theorie nach Stokes 2. Ordnung bestimmten maximalen Geschwindigkeiten der maximalen Welle in einer unteren und einer oberen Messebene

	PIV	ADV	lin. Theorie	STOKES
Geschwindigkeit obere Ebene	0,399 m/s	0,437 m/s	0,387 m/s	0,457 m/s
<i>Abweichung von lin. Theorie</i>	+ 3,1 %	+ 12,9 %	-	+ 18,1 %
<i>Abweichung von STOKES</i>	- 12,7 %	- 4,4 %	- 15,3 %	-
Geschwindigkeit untere Ebene	0,365 m/s	-	0,376 m/s	0,447 m/s
<i>Abweichung von lin. Theorie</i>	- 2,9 %	-	-	+ 18,9 %
<i>Abweichung von STOKES</i>	- 18,3 %	-	- 15,8 %	-

Die theoretische Berechnung der maximalen horizontalen Geschwindigkeit der häufigen Welle in der oberen Ebene ergibt 0,016 m/s. Bei den Messungen mit dem PIV werden bei dieser Messung maximal 0,029 m/s gemessen. Es existiert rechnerisch eine Abweichung von rd. 45 %. Die Messgenauigkeit von rd. $\pm 0,02$ m/s bei Wellenhöhen von 0,04 m relativiert diese Abweichungen allerdings. In der unteren Ebene der häufigen Welle zeigt sich ein ähnliches Verhalten. Rechnerisch ergibt sich dort für die häufige Welle eine maximale Geschwindigkeit von 0,008 m/s. Die mit dem PIV maximal gemessene Geschwindigkeit liegt bei 0,018 m/s. Die untere Ebene wurde mit der ADV-Sonde nicht gemessen.

Bei der maximalen Welle werden zwei Werte für die maximale Geschwindigkeit berechnet. Nach der linearen Theorie ergibt sich in der oberen Ebene eine maximale Geschwindigkeit von 0,387 m/s, nach Stokes Theorie 2. Ordnung eine von 0,457 m/s. Der nach Stokes berechnete Wert weicht also um 18,1 % von dem nach der linearen Theorie ab. Die mit dem PIV gemessene maximale

Geschwindigkeit beträgt 0,399 m/s. Sie ist also rd. 12,7 \% geringer als der Wert, der nach Stokes berechnet wurde, aber nur 3,1 \% größer als der Wert, der nach der linearen Theorie berechnet wurde. Mit der ADV-Sonde wurde in der oberen Ebene eine maximale Geschwindigkeit von 0,437 m/s gemessen. Diese liegt näher an der nach Stokes berechneten Geschwindigkeit. So weicht sie nur 4,4 \% von dem Ergebnis nach Stokes ab, aber 12,9 \% von dem nach der linearen Theorie.

In der unteren Ebene wird für die maximale Welle nach der linearen Theorie eine Geschwindigkeit von 0,376 m/s berechnet, nach Stokes eine Geschwindigkeit von 0,447 m/s. Wieder weichen die berechneten Werte für Stokes 2. Ordnung nach oben voneinander. Die rechnerische Abweichung liegt bei 18,9 \%, welches der rechnerischen Abweichung in der oberen Ebene sehr gut entspricht. Die maximal mit dem PIV gemessene Geschwindigkeit für die maximale Welle beträgt 0,365 m/s. Sie weicht also wie in der oberen Ebene bereits mit 18,3 \% mehr von dem Ergebnis nach Stokes ab als mit 2,9 \% von dem Ergebnis nach der linearen Theorie. Eine Übersicht der Verhältnisse der empirisch und theoretisch bestimmten maximalen Geschwindigkeiten der maximalen Welle in den beiden Ebenen ist in Tab. 50 gegeben. Eine größenordnungsmäßige Übereinstimmung der Messungen mit den theoretischen Ansätzen wird deutlich. Dies stützt die Laborergebnisse und erhöht die Vertrauenswürdigkeit.

Schlussfolgerungen

Die Verwendung von ADV- und PIV-Messungen zielt auf die Analyse der Auswirkungen auf die Strömungsverhältnisse eines in einem TriPile installierten Aquakulturkäfigs unter Wellen. Es zeigte sich, dass die Geschwindigkeiten einen Einfluss infolge der TriPile-Struktur haben. Eine zusätzliche Beeinflussung durch den AKK ist jedoch untergeordnet signifikant.

Ohne Beeinflussung durch die TriPile-Struktur oder den AKK liegen die Geschwindigkeiten der maximalen Welle bei der Versuchsdurchführung bei bis zu 0,4 m/s. Dies entspricht im Naturmaßstab einer Geschwindigkeit von rd. 2,53 m/s. Bei der häufigen Welle liegen die maximalen Geschwindigkeiten bei 0,03 m/s, mit einer Entsprechung in der Natur von 0,2 m/s. Die gemessenen Geschwindigkeiten decken sich mit den aus Wellentheorien theoretisch berechneten Geschwindigkeiten, sodass die Ergebnisse der Messungen als plausibel angenommen werden können.

Bei Beeinflussung durch eine TriPile-Struktur verändern sich nicht nur die Strömungsrichtungen, sondern auch die Strömungsgeschwindigkeiten. Ausgehend von den Messungen beträgt die maximale Geschwindigkeit der maximalen Welle $>0,6$ m/s, mit einer Entsprechung in der Natur von 3,8 m/s. Ein Geschwindigkeitsanstieg von 30 \% durch den Einbau des TriPiles sollte bei der Planung unbedingt beachtet werden.

Durch den Einbau des Fischkäfigs vergrößern sich die Geschwindigkeiten im Zeitraum des Wellentals um rd. 40 \%. In der Natur führt dieses zu Geschwindigkeiten bis zu 3,2 m/s. Weiterhin zieht der Einbau eines AKK signifikante Auswirkungen auf die Geschwindigkeit in Kanalquerrichtung mit sich. Das Gesamtgeschwindigkeitsfeld wird inhomogener und zeitvarianter. Die Quergeschwindigkeiten betragen bis zu 0,3 m/s, mit einer Entsprechung in der Natur von 1,9 m/s. Innerhalb des Käfigs verringert sich durch den Käfig die Geschwindigkeit um 6 \% auf 0,5 m/s gegenüber dem ungestörten Fall. Dies entspricht im Naturmaßstab 3,2 m/s. Dies bedeutet, dass sich die Geschwindigkeit innerhalb des Käfigs zwar verringert, die Dämpfung der Geschwindigkeit aber eher gering ausfällt. Weitere Messungen in Folgeprojekten können das Gesamtverständnis der inneren Geschwindigkeiten und der Dynamik im AKK-Inneren ausbauen.

Belastungsmessung infolge von Aquakulturkäfigen

Darstellung der Ergebnisse als Zeitsignal

Im Rahmen der Analyse der Kraftmessungen auf die AKKs werden zunächst die Wasserstand- und Kraftverläufe in zeitlicher Hinsicht dargestellt. Abb. 94 verdeutlicht den zeitlichen Verlauf der Wasserstands- und Kraftmessung zu einem ausgewählten Zeitfenster der Messungen in Naturgrößen.

Der Wasserstand wird dabei direkt an der TriPile-Struktur aufgezeichnet und die Reaktionen des Systems TriPile-AKK mittels der Kraftmessdosen gemessen. Es handelt sich hierbei zunächst um die obere Befestigungsebene für den Zylinderkäfig. Per Definition ist die Kraftmessdose FT_4 parallel zur Wellenanlaufichtung am Pfahl 1 angebracht und für zugkräfte negativ eingestellt. Dies hat zur Folge, dass beim Durchlaufen eines Wellenberges an dieser Messposition eine negative Kraft gemessen wird wohingegen an den beiden abgewandten Messpositionen FT_5 und FT_6 positive Kräfte unter Zugrundelegung vektorieller Zerlegung auftreten.

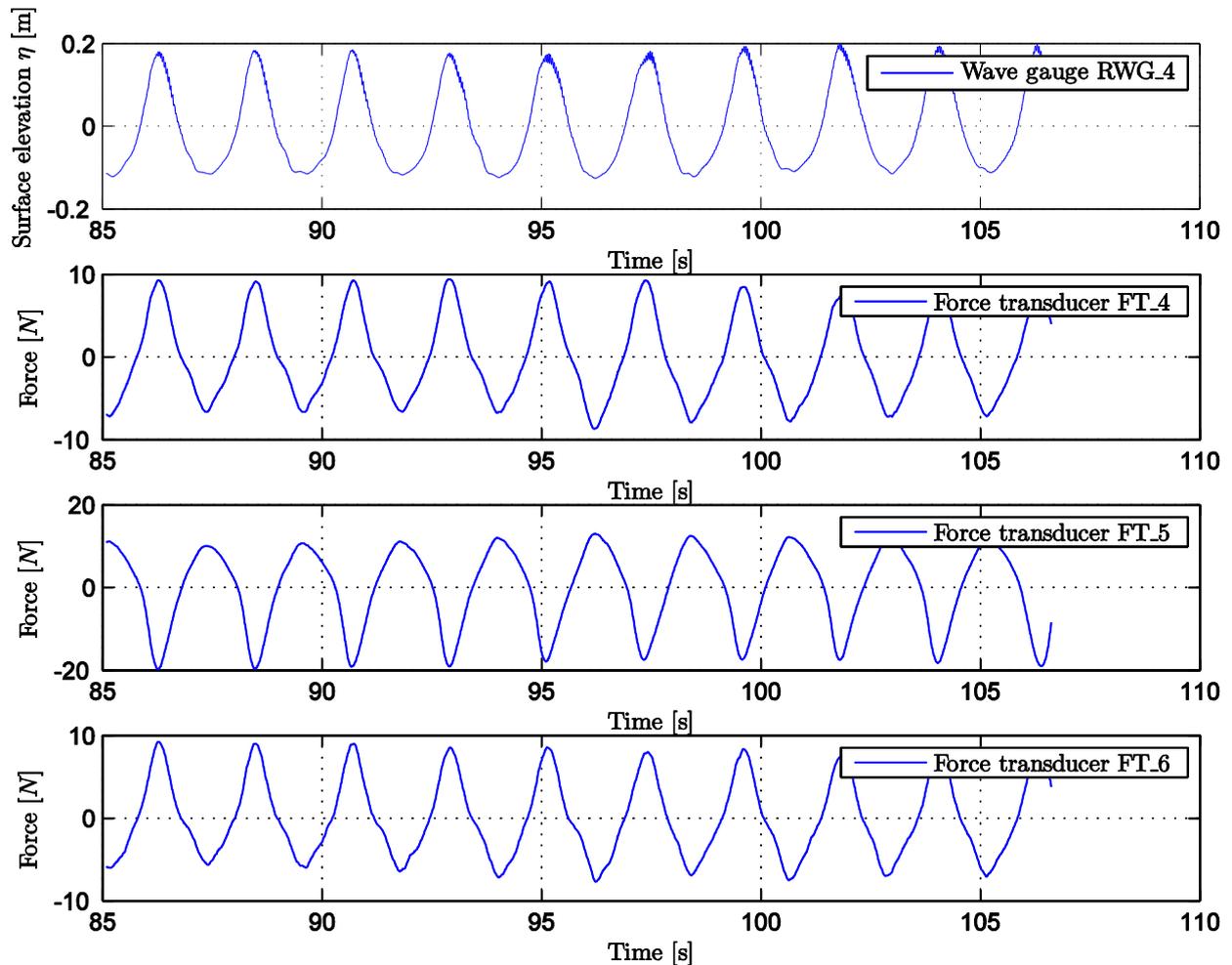


Abb. 94: Darstellung der zeitlichen Wasserstands- und Kraftverläufe einer maximalen Welle, Kraftverläufe infolge einer Netzlage für die Kraftsensoren FT_4, FT_5 und FT_6 der oberen Ebene (vergl. Abb. 78) der Versuchsreihe 1 (0°-Drehung), Zylindervariante

Es fällt auf, dass die generierten Wellen asymmetrisch von einer idealen Sinusform abweichen und die Wellenberge im Vergleich zu den Wellentälern größer sind. Dies führt in der weiteren Auswertung ebenfalls dazu, dass die aufgetragenen Kräfte infolge der Wellenberge größer sind als diejenigen der durch Wellentäler hervorgerufenen.

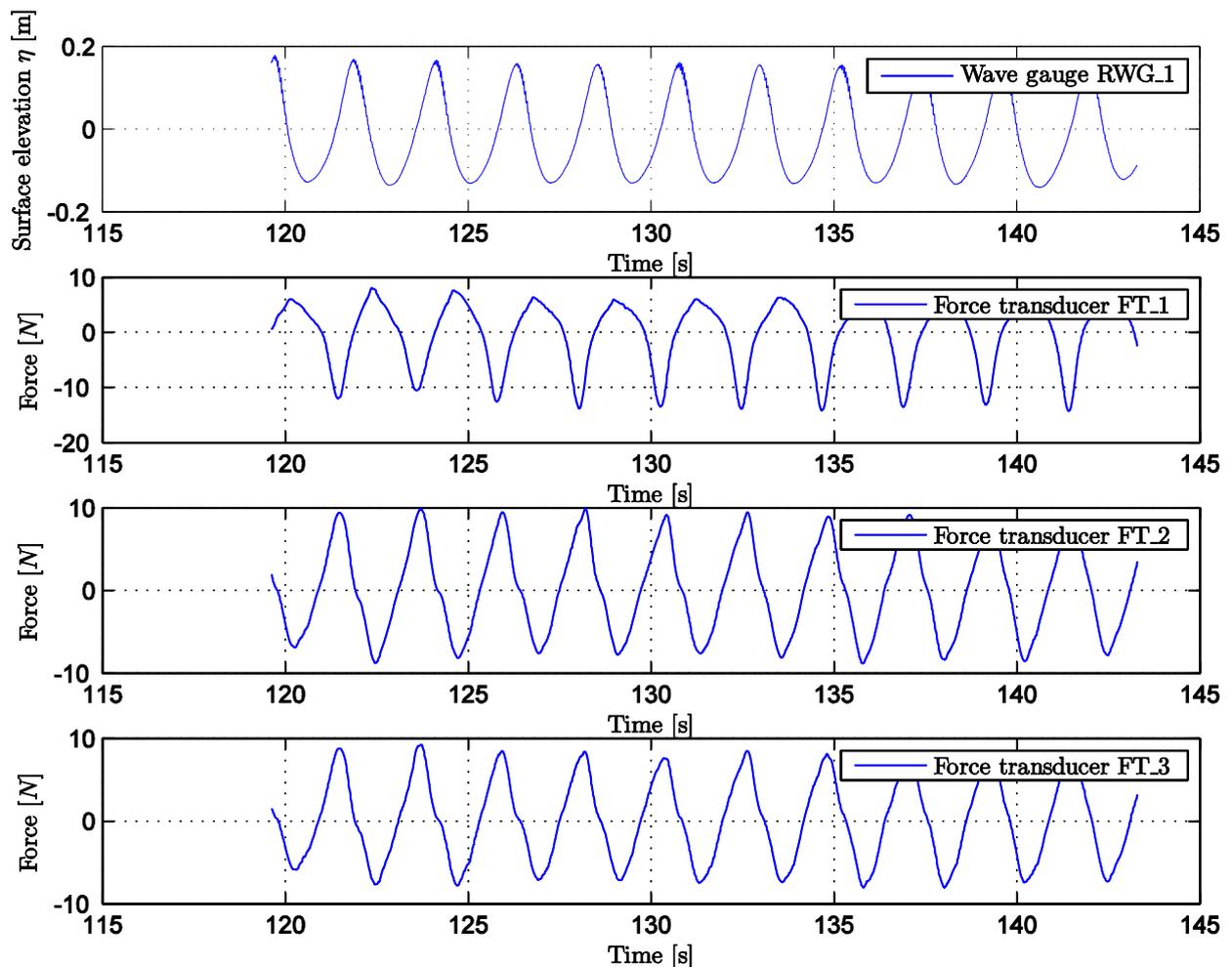


Abb. 95: Darstellung der zeitlichen Wasserstands- und Kraftverläufe einer maximalen Welle, Kraftverläufe infolge einer Netzlage für die Kraftsensoren FT_1, FT_2 und FT_3 der oberen Ebene (vergl. Abb. 79) der Versuchsreihe 1 (0°-Drehung), Kugelvariante

Abb. 95 stellt in Analogie zu den Kraftverläufen des Zylinders auch die zeitlichen Verläufe der Kugelvariante für eine maximale Welle dar. Es fällt auf, dass die zyklischen Belastungen infolge von Wellen auf die Pfähle nicht symmetrisch oszillieren, sondern, dass der in Wellenrichtung angeordnete Pendelstab mit der Kraftmessdose FT_1 eine deutlich erhöhte Einwirkdauer während der Wellenbergphase verzeichnet. Gleichzeitig zeigt sich, dass die Verläufe der abgewandten Kraftmessdosen zwischen den Maxima der Messung stark linear verlaufen und in dieser Hinsicht nicht der Erwartung entsprechen, die infolge der einwirkenden Wasserstandsauslenkung durch die Wellen zu erwarten wären. Ein direkter Vergleich zwischen den beiden AKK-Varianten mit Bezug auf die zeitlichen Wasserstands- und Kraftverläufe ist nicht möglich, da die Anschlagenebenen der beiden AKK-Systeme in ihrer vertikalen Lage nicht identisch sind. Weiterhin sind für die Zylindervariante zwei Anschlagenebenen und für die Kugelvariante im Versuch abweichend zur finalen Designvariante nur eine Anschlagenebene vorgesehen. In den folgenden Kapiteln werden nun die Messungen der Kräfte für alle durchgeführten Versuchsvariationen hinsichtlich der minimalen und maximalen Kräfte (Zug- und Druckkräfte in den Anschlagstäbe/Pendelstützen) ausgewertet.

Zylindervariante

Die Zylindervariante der untersuchten AKKs besitzt zwei Anschlagenebenen (obere Ebene mit Kraftmessdosen FT_4, FT_5 und FT_6 sowie untere Ebene mit FT_1, FT_2 und FT_3) und einen vertikalen Zugstab (FT_7) der die Vertikallasten auf das Stützkreuz des TriPiles abträgt. Die Höhenlagen der horizontalen Ebenen sind durch das Institut für Stahlbau vorgegeben.

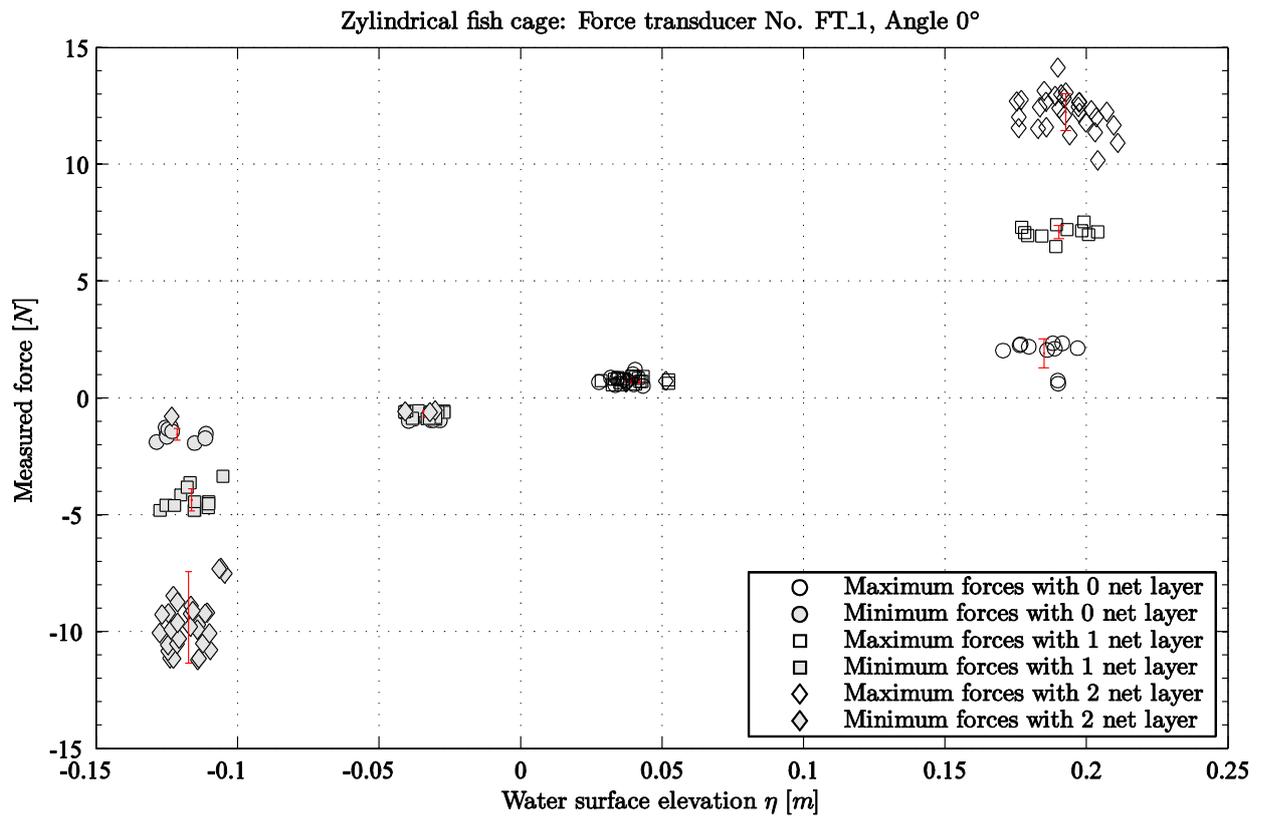


Abb. 96: Zusammenhang zwischen Wasserspiegelauslenkung und Längskraft in der unteren Anschlagenebene an Messstelle FT_1 in Abhängigkeit der Anzahl an Netzlagen, 0°-Drehung des TriPiles

In Abb. 96 erfolgt eine Zusammenstellung des Zusammenhangs zwischen der Wellenhöhe und den resultierenden Lasten für die Anschlagstelle und Kraftmessdose FT_1 am vorderen Pfahl des TriPiles der unteren Ebene in Abhängigkeit von der Anzahl der Netzlagen. Es zeigt sich zunächst, dass mit Zunahme der Anzahl an Netzlagen eine Erhöhung der maximalen und minimalen Kräfte einhergeht. Diese Entwicklung lässt sich jedoch nicht direkt für den Bereich der häufigen Wellen nachweisen, allerdings ist in diesem Grenzbereich das Lastniveau sehr niedrig und die verwendeten Kraftmessdosen erfassen die Kräfte innerhalb der Messgenauigkeit des Messgerätes. Es ist weiterhin zu erkennen, dass es sich mit Zunahme der Wellenhöhen eine überproportionale Erhöhung der gemessenen Kräfte einstellt. Aufgrund einer unzureichenden Anzahl an Punktwolken für die Kräfte lässt sich allerdings keine Trendlinie hin zu höheren Lasten ermitteln. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass sich der Trend zur überproportionalen Erhöhung auch bei größeren Wellenhöhen als den untersuchten zeigen wird. Ebenfalls deutlich erkennbar ist die Auswirkung der Anzahl an Netzlagen. Mit Zunahme der Anzahl bzw. des Verbaugrades erhöht sich die gemessene Kraft in den Pendelstützen. Eine Erhöhung der Anzahl an Netzlagen von null auf eine Netzlage erhöht generell die Kräfte um mehr als 100 %. Eine weitere Steigerung auf zwei Netzlagen ist allerdings weniger deutlich an einem gesteigertem Lastniveau zu erkennen. Die weitere Erhöhung der Belastung des TriPiles liegt bei rd. 40 % für die betrachtete Krafteinleitungsstelle.

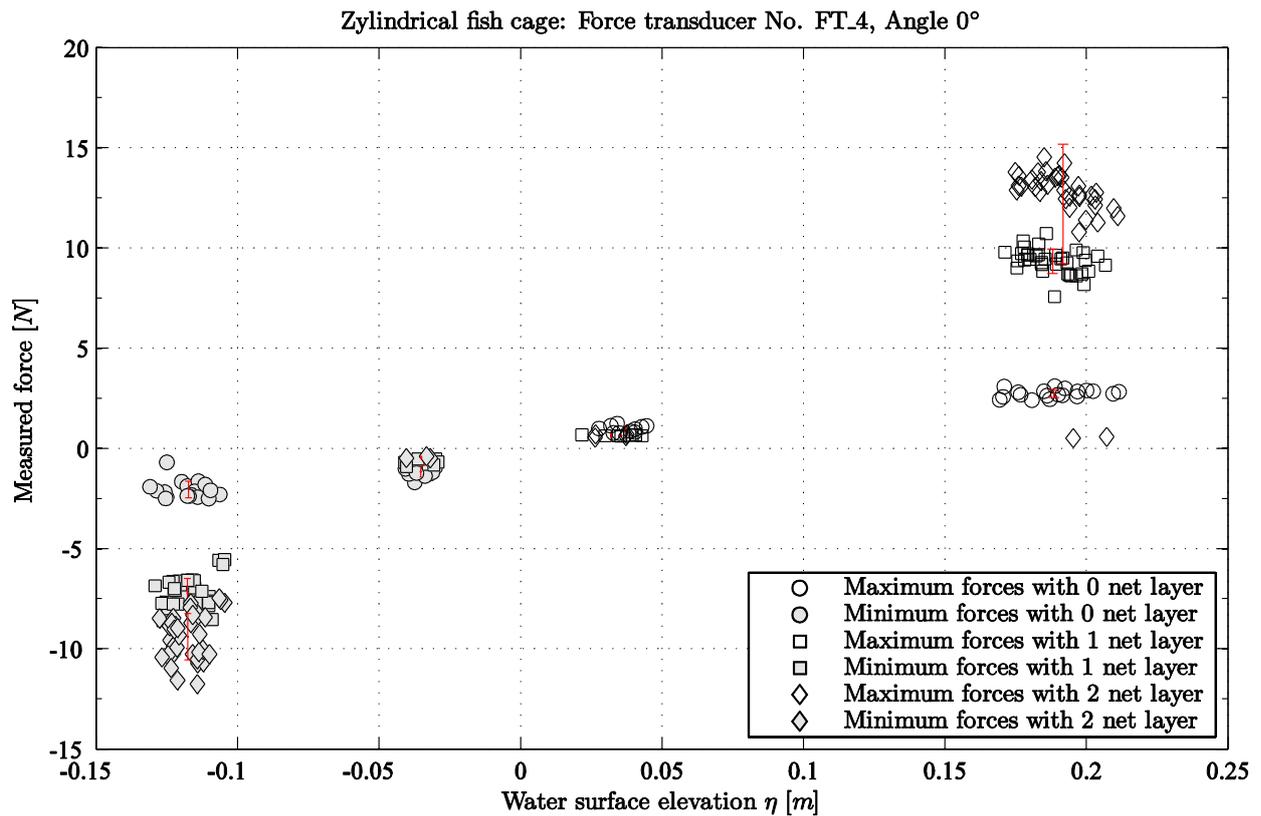


Abb. 97: Zusammenhang zwischen Wasserspiegelauslenkung und Längskraft in der oberen Anschlagenebene an Messstelle FT_4 in Anhängigkeit der Anzahl an Netzlagen, 0°-Drehung des TriPile

Bei Betrachtung der Krafteinleitungsstelle an demselben Pfahl jedoch in der oberen Anschlagenebene (FT_4, Abb. 97) zeigt sich weiterhin, dass die maximalen und minimalen Kräfte im Vergleich zur unteren Anschlagenebene nur geringfügig ansteigen. Dies ist zunächst unerwartet, erklärt sich allerdings mit Lastumlagerungen über den Zylinder-AKK, der im Modell sehr steif ausgebildet ist. Für die Kräfte infolge einer Netzlage zeigt sich allerdings eine Erhöhung der maximalen und minimalen Kräfte gegenüber der unteren Krafteinleitungsstelle.

Die Messung der vertikalen Kräfte infolge der Wellenbelastung erfolgt in Summation über eine Kraftmessdose FT_7. Für diese Messstelle ergibt sich entgegen der Ergebnisse der horizontalen Messungen ein deutlich linearerer Anstieg der Kräfte mit Zunahme der Wellenhöhen und auch der Anzahl der Netzlagen. Abb. 98 zeigt die Zusammenstellung der gemessenen Wasserspiegelauslenkungen, maximalen und minimalen Kräfte.

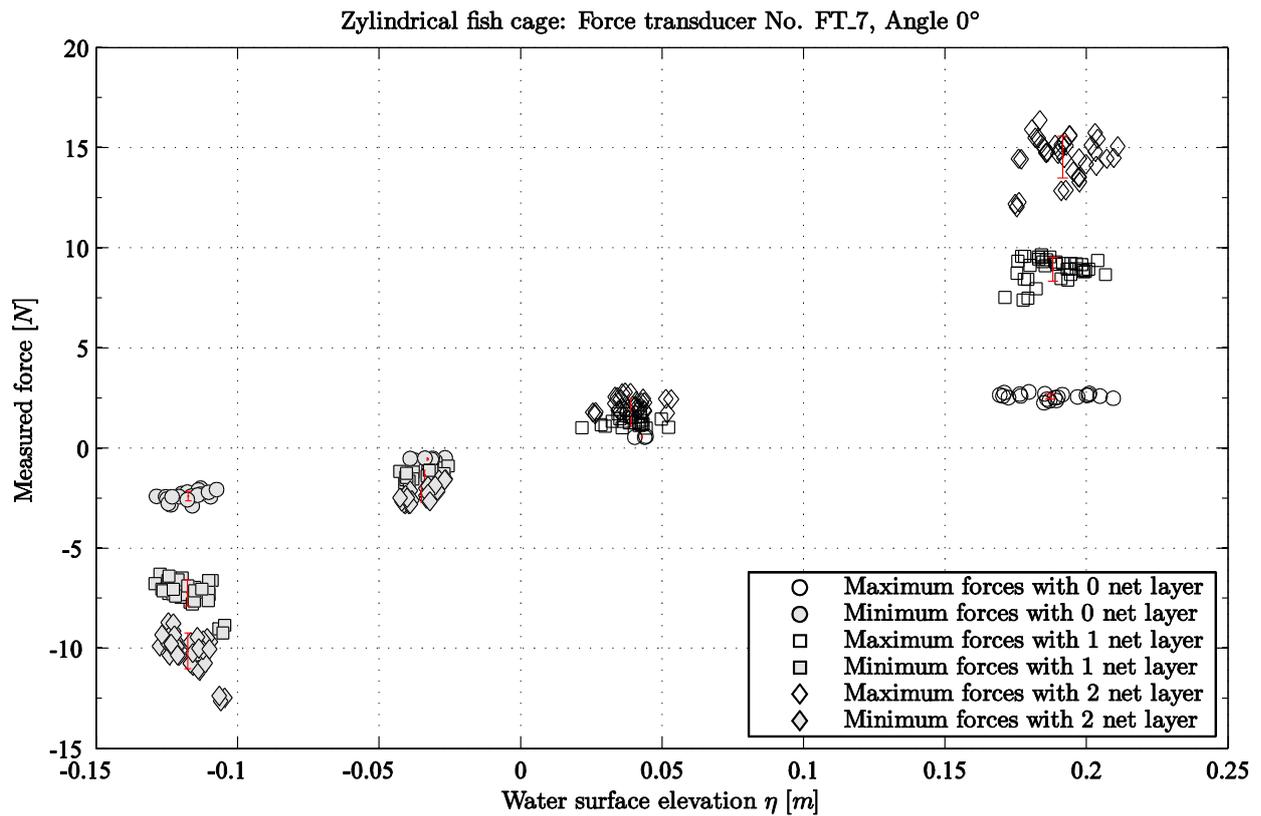


Abb. 98: Zusammenhang zwischen Wasserspiegelauslenkung und Längskraft in der vertikalen Anschlagenebene an Messstelle FT_7 in Anhängigkeit der Anzahl an Netzlagen, 0°-Drehung des TriPile

In den vorangegangenen Abbildungen sind zusätzlich zu den gemessenen Einzelwerten ebenfalls die Mittelwerte für die einzelnen Variationsgruppen sowie deren Standardabweichung angegeben, sodass für weitere Untersuchungen in statischer Hinsicht mittlere Rechenwerte entnommen werden können. Die mittlere Standardabweichung über alle Versuche, die den Zylinder-AKK betreffen, liegt bei rd. 0,5 N.

Kugelvariante

Die Versuche zu den Kugel-AKKs erfolgen analog zu den Zylinder-AKK-Messungen. Im Gegensatz dazu gilt allerdings, dass es nur eine Anschlagenebene mit den dazugehörigen Messstellen FT_1, FT_2 und FT_3 in horizontaler sowie FT_4 in vertikaler Richtung gibt.

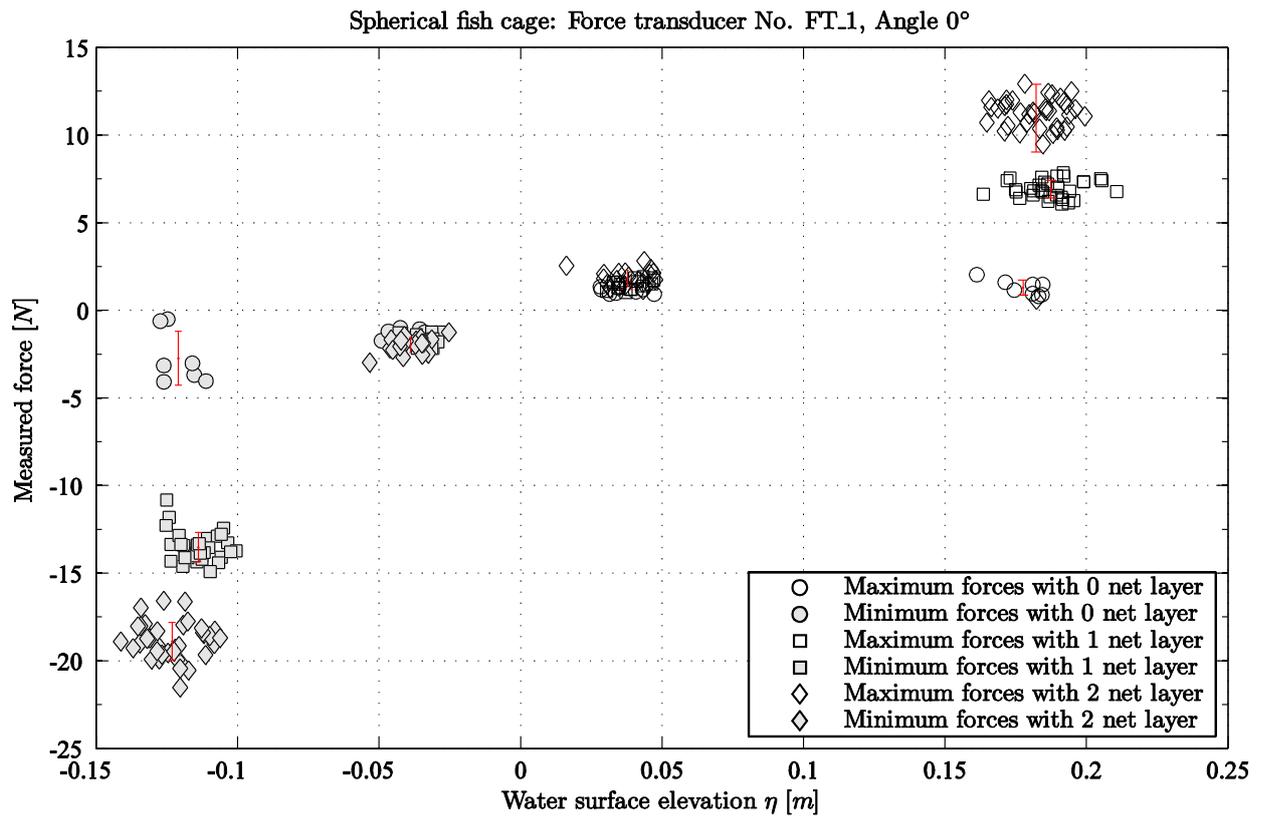


Abb. 99: Zusammenhang zwischen Wasserspiegelauslenkung und Längskraft in der horizontalen Anschlagebene an Messstelle FT_1 in Abhängigkeit der Anzahl an Netzlagen, 0°-Drehung des TriPile, Kugelvariante

Die ermittelten Lasten für die Kugelvariante des AKK entsprechen qualitativ denen des Zylinder-AKK. Grundsätzlich ergibt sich ein ähnliches Lastniveau, jedoch werden für die Kugelvariante in den horizontalen Messstellen direkt die gesamten Lasten ermittelt wohingegen für die Zylindervariante eine Addition der übereinander liegenden Messstellen erforderlich ist. Auf der anderen Seite beträgt jedoch die angeströmte Fläche der Kugel mit $A_{sph} = 153,9 \text{ m}^2$ gegenüber der Zylinderfläche mit $A_{zyl} = 245,0 \text{ m}^2$ nur rd. 62,8 % des Zylinders. Aufgrund der Formunterschiede ist ebenfalls mit einem abweichend geringeren Formbeiwert C_d für die Umströmung zu rechnen.

Abb. 99 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen den gemessenen Wellenhöhen und den induzierten Lasten für die Kraftmessstelle FT_1 am vorderen TriPile-Pfahl in Abhängigkeit der Anzahl der Netzlagen. Generell liegen die horizontalen Lasten in diesem Fall für Wellenberge und für zwei Netzlagen rd. -11,5 N und für Wellentäler rd. 18 N. Die vergrößerten Lasten zum Zeitpunkt der Wellentäler erklärt sich zum einen aus der Nichtlinearität der generierten Wellen und zum anderen liegt die Wasserspiegeloberfläche für die verwendeten Wellen während des Wellentales deutlich näher an der AKK-Oberseite als während des Durchgangs eines Wellenberges.

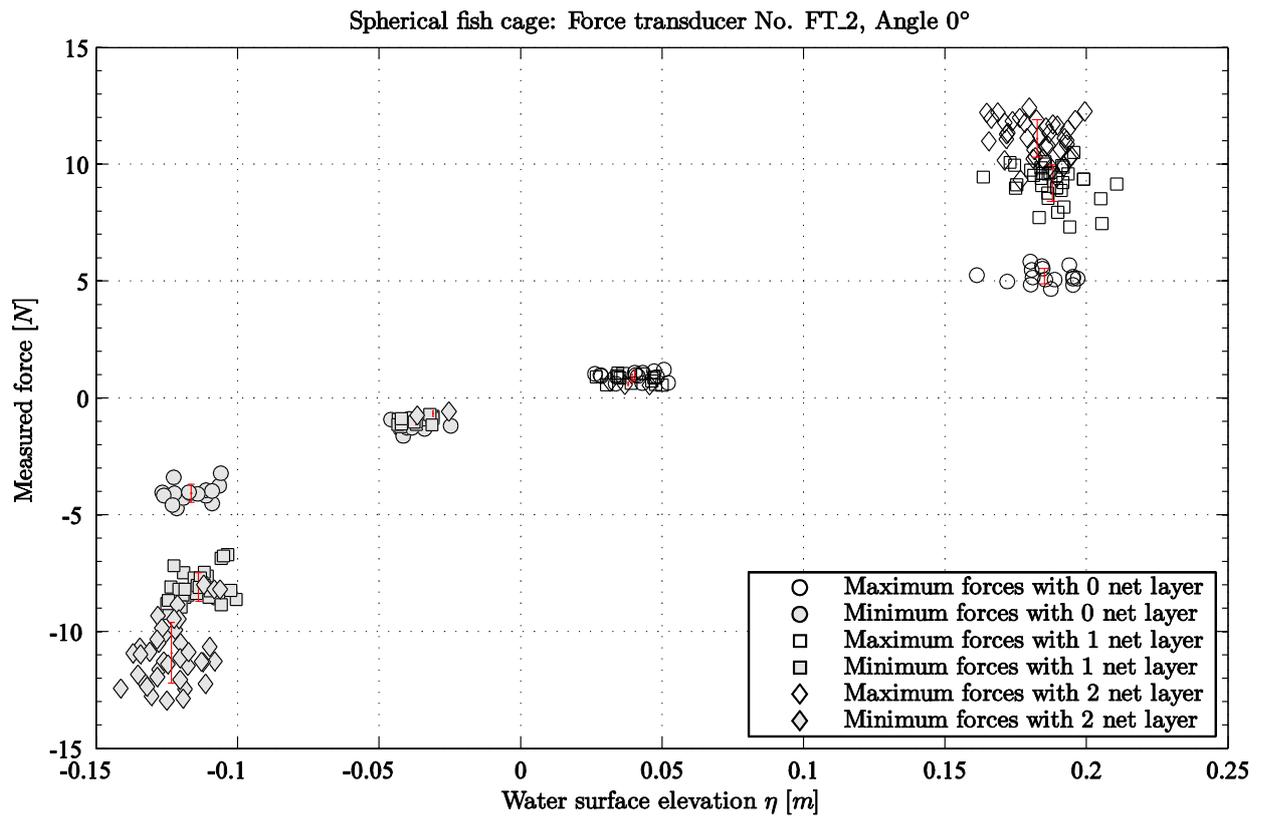


Abb. 100: Zusammenhang zwischen Wasserspiegelauslenkung und Längskraft in der horizontalen Anschlagsebene an Messstelle FT_2 in Anhängigkeit der Anzahl an Netzlagen, 0°-Drehung des TriPile, Kugelvariante

Abb. 100 und Abb. 101 verdeutlichen die Zusammenhänge zwischen gemessenen Wasserspiegelauslenkungen und horizontalen Kräften in Abhängigkeit von der Anzahl der Netzlagen für die weiteren beiden Lasteinleitungsstellen FT_2 und FT_3 in dieser Anschlagsebene. Die mittleren Lasten zum Zeitpunkt des Wellentals für die maximalen Wellen beträgt rd. -10,5 N und für die Wellenberge ebenfalls rd. 10,5 N. Dies weist für den Fall der Kugelvariante auf eine symmetrische Kraftübertragung zwischen den drei gemessenen horizontalen Krafteinleitungsstellen hin. Wie schon bei der Zylindervariante zeigt sich, dass mit Zunahme der Wasserspiegelauslenkung auch die gemessenen Kräfte überproportional ansteigen. Der Anstieg der infolge der Erhöhung der Netzlagenanzahl zu verzeichnen ist, ist jedoch nicht linear sondern verringert sich mit Zunahme der Netzlagen. Ein Grund hierfür kann neben nichtlinearen Effekten auch sein, dass versuchstechnisch bedingt und lageabhängig die zweite Netzlage nicht vollständig zu einer Halbierung des Verbaugrades beiträgt.

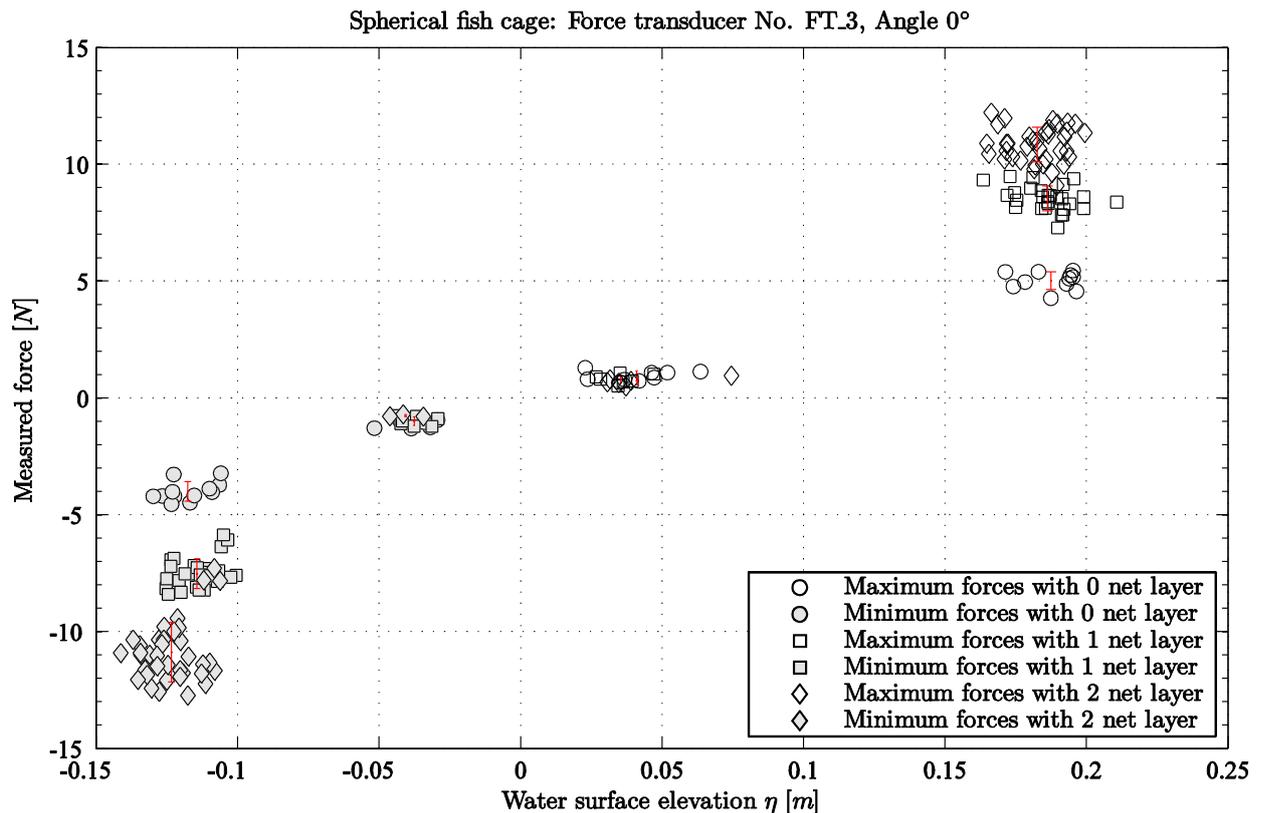


Abb. 101: Zusammenhang zwischen Wasserspiegelauslenkung und Längskraft in der horizontalen Anschlagebene an Messstelle FT_3 in Anhängigkeit der Anzahl an Netzlagen, 0°-Drehung des TriPile, Kugelvariante

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Gesamlastniveau der Kugel im Vergleich zum Zylinder niedriger anzusetzen ist. Inwiefern sich dies jedoch quantitativ bemerkbar macht, kann nicht abschließend geklärt werden, da die Messergebnisse zu stark streuen, als dass eine Aufsummierung insbesondere an der Zylindervariante und anschließende Hinzuziehung zu einem Vergleich mit der Kugelvariante sinnvoll wäre. Generell lässt sich aber feststellen, dass Unterschiede in der Belastung der OWEA-Gründungsstruktur durch die beiden untersuchten AKK-Varianten existieren. In Analogie zu den Formbeiwerten der untersuchten AKKs ergeben sich für die Kugelvariante in der Tendenz geringere horizontale Belastungen für die OWEA-Gründungsstrukturen, während erhöhte Horizontallasten aus den experimentellen Untersuchungen für die Zylindervariante festzustellen sind.

Kolkiefenermittlung

Theoretische Kolkiefenermittlung mithilfe der KC-Zahl

Nach Ungruh und Zielke (2004) stehen zwei verschiedene Ansätze zur Berechnung der Gleichgewichtskolkstiefe in Abhängigkeit vom Pfeilerdurchmesser zur Verfügung. Nach Sumer und Fredsøe (2002) (aus (Ungruh und Zielke 2004)) besteht die Möglichkeit der Berechnung der relativen Kolkstiefe an schlanken Pfählen infolge von mithilfe der folgenden Gleichung Gl. 3-2:

$$\frac{S}{D} = 1,3 \{1 - e^{(-0,03(KC-6))}\} \quad \text{Gl. 3-2}$$

- mit den folgenden Variablen und Gültigkeit für $KC > 6$:
- S maximale Kolkstiefe [m]
- D Pfeilerdurchmesser [m]
- KC Keulegan-Carpenter Zahl

Eine Variation der Ermittlung der relativen Kolkstiefe finden Melville und Coleman (2000) durch Anpassung des Vorfaktors der Berechnungsvorschrift (vgl. Gl. 34)

$$\frac{S}{D} = 2,0 \{1 - e^{(-0,03(KC-6))}\} \quad \text{Gl. 34}$$

Die Keulegan-Carpenter Zahl berechnet sich nach Sumer und Fredsøe (2002) mithilfe der Gl. 35 zu:

$$KC = \frac{U_w T}{D} \quad \text{Gl. 35}$$

- mit:
- U_w Maximalwert der ungestörten Orbitalgeschwindigkeit am Boden durch Wellenbelastung [m/s]
- T Wellenperiode [s]

Vereinfachend lässt sich der Maximalwert der ungestörten Orbitalgeschwindigkeit am Boden durch Wellenbelastung nach Ungruh und Zielke (2004) über Gl. 36 berechnen:

$$U_w = \frac{\pi H}{T} \frac{1}{\sinh(kd)} \quad \text{Gl. 36}$$

- mit:
- H Wellenhöhe [m]
- k Wellenzahl ($2\pi/L$) mit L = Wellenlänge [m]
- d Wassertiefe [m]
- Unter der Annahme der folgenden Randbedingungen ergeben sich mit einer maximalen Wellenhöhe von $H = 0,28$ m und einem Pfahldurchmesser von $D = 0,0875$ m die in Tab. 51 dargestellten Ergebnisse.

Tab 51: Berechnung der theoretischen Kolktiefe unter Annahme der geometrischen Abmessungen der TriPile-Pfähle sowie der maximalen Wellenbelastung mit zwei unterschiedlichen Wellenperioden

T [s]	2,2	3
L [m]	5,34	7,68
k [1/m]	1,18	0,82
U_w [m/s]	0,4	0,45
KC [-]	10,06	15,43
S/D [-] (Sumer und Fredsøe 2002b)	0,14	0,32
S [m]	0,0123	0,028 (28 mm)
S/D [-] (Melville und Coleman 2000)	0,23	0,49
S [m]	0,0201 (20,1 mm)	0,0429 (42,9 mm)

Auswertung der Messungen

Die Auswertung der Kolkversuche an TriPile-Strukturen erfolgt mithilfe der Bilderfassung von Messstäbchen (vgl. Kapitel 7.3.4). Hierbei wurde die Kolkentwicklung, orientierend an den Markierungen der Kunststoffstäbchen, visuell mit einer Ablesegenauigkeit von rd. 2,0 mm abgeschätzt. Die abgelesenen Werte werden manuell in einer Tabelle erfasst und im Anschluss daran elektronisch weiter verarbeitet. Neben der zeitlichen Entwicklung der Kolkentiefe über ist es über die räumliche Verteilung der Messstäbchen ebenfalls möglich vertikale Schnitte durch das Sandbett darzustellen. In der Folge werden exemplarisch einige Ergebnisse vorgestellt.

Kolkentwicklung ohne Fischaufzuchtkäfig

Zunächst wird die Entwicklung der Kolktiefe für eine verlängerte Wellenperiode von $T = 3,0$ s dargestellt. Diese Veränderung der Wellenperiode erfolgt aufgrund der Tatsache, dass die Kolkentwicklung unter den in Kapitel 7.3.4 beschriebenen Randbedingungen nicht signifikant gewesen ist. Die veränderte Randbedingung lässt sich für eine mittlere Dünungssituation für einen Nordseestandort konstruieren wenngleich die angenommene Wellenhöhe damit sehr groß wird. Dies stellt allerdings einen statistisch sehr seltenen Fall dar, der aus kolktechnischer Sicht in keinem Fall Bemessungsrelevanz haben wird.

Die Abb. 102 und Abb. 103 stellen die zeitliche Entwicklung der Kolktiefe über die Anzahl der Wellen für eine maximale Wellen mit einer Periode von 3,0 s ohne einen Einfluss des Fischaufzuchtkäfigs dar.

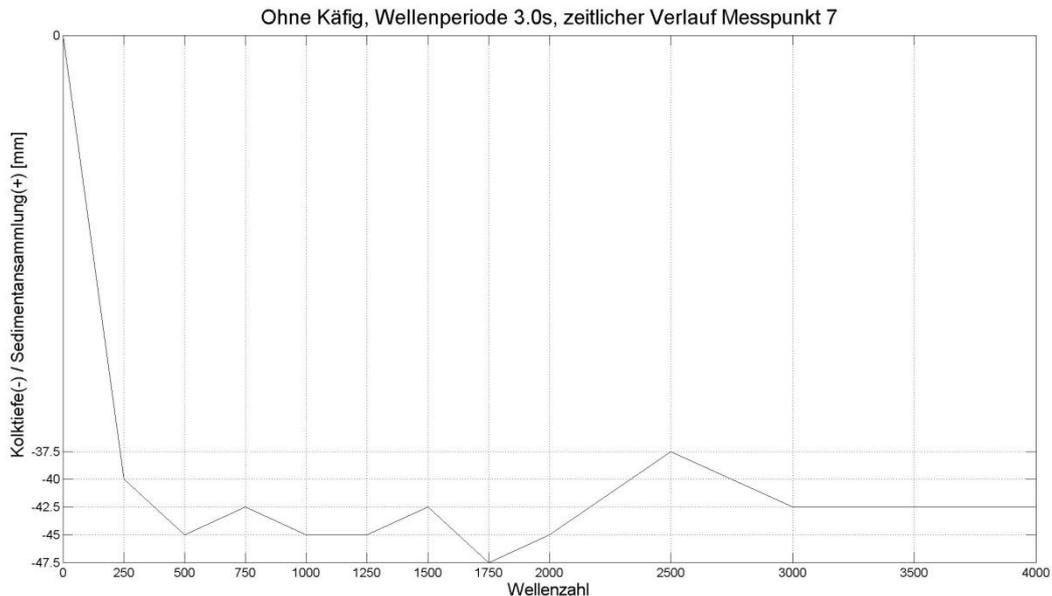


Abb. 102: Zeitliche Entwicklung der Kolktiefe an der Messposition 7 (vgl. Anhang **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) über die Anzahl der Wellen während des Versuch für eine Wellenperiode von 3 s ohne Fischaufzuchtkäfig (direkt vor dem ersten Pfahl)

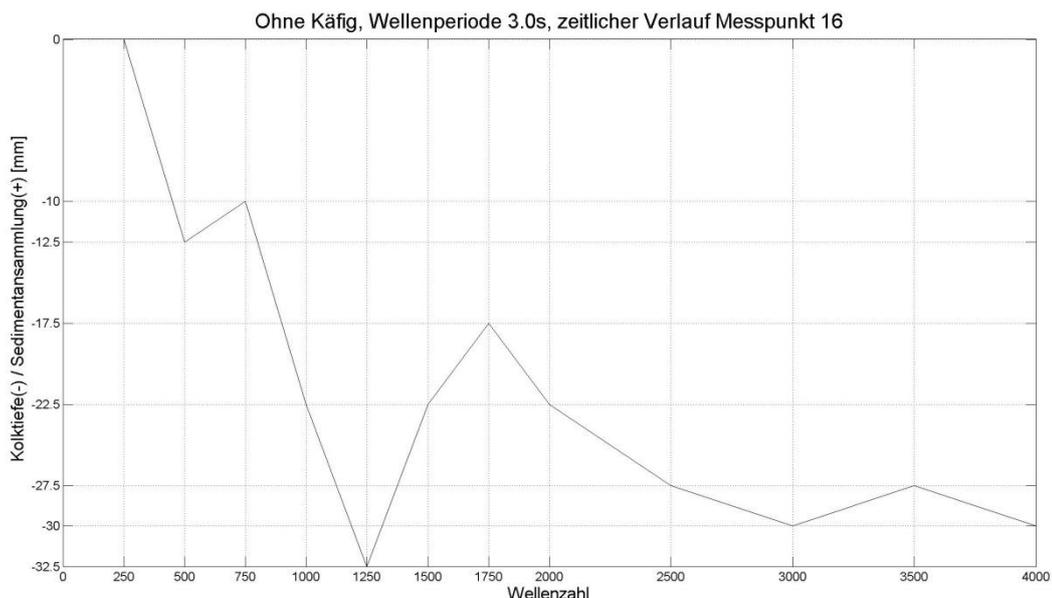


Abb. 103: Zeitliche Entwicklung der Kolktiefe an der Messposition 16 (vgl. Anhang B.1) über die Anzahl der Wellen während des Versuch für eine Wellenperiode von 3 s ohne Fischaufzuchtkäfig (zentral unter dem Turm)

Die gewählten Positionen befinden sich direkt vor dem Pfahl sowie direkt unterhalb des Windenergieturms. Es zeigt sich, dass infolge der Wellenbelastung an beiden Standorten ein Kolk erzeugt wird. Während im Nahbereich des vorderen Pfahls eine maximale Kolkentiefe von 48 mm (relativ $S/D = 0,54$) entsteht, ist die Kolkentiefe direkt unterhalb des Turmes mit 32 mm (relativ $S/D = 0,36$) rd. 50 % geringer. Während die zeitliche Kolkentwicklung im Bereich des Pfahles sehr schnell nach Belastungsbeginn abnimmt und konstant bleibt, ist an Messposition 16 eine verzögerte Reaktion festzustellen. Es zeigt sich ebenfalls, dass mobilisierte und in der Folge transportierte Sedimente aus dem Bereich des vorderen Pfahls u.U. für einen Teil der Auflandung im Verlauf der Gesamtkolkentwicklung unterhalb des Turmes veranlassen.

Kolkentwicklung mit Fischaufzuchtkäfigen

Die Gesamtkolkentiefe mit AKK an der Messposition 7 liegt im Rahmen der Kolkuntersuchungen für eine maximale Welle mit einer Periode von 3 s unwesentlich niedriger als ohne AKK. Es ergibt sich eine Kolkentiefe von 42 mm (relativ $S/D = 0,48$). Die Abbildung hierzu ist dem Anhang **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zu entnehmen. Dementgegen zeigt sich ein Einfluss des AKK auf die Kolkentwicklung zentral unterhalb des Turmes. Abb. 104 stellt diese Entwicklung über die Anzahl der Wellen dar. Es lässt sich eine deutliche Reduzierung der Endkolkentiefe auf rd. 22 mm (relativ $S/D = 0,25$) erkennen, deren Ursache aus einer Verminderung der Strömungsgeschwindigkeiten im bodennahen Bereich unter dem AKK zu sehen ist. Neben der verminderter Endkolkentiefe ist auch ein wesentlich späterer Kolkbeginn festzustellen.

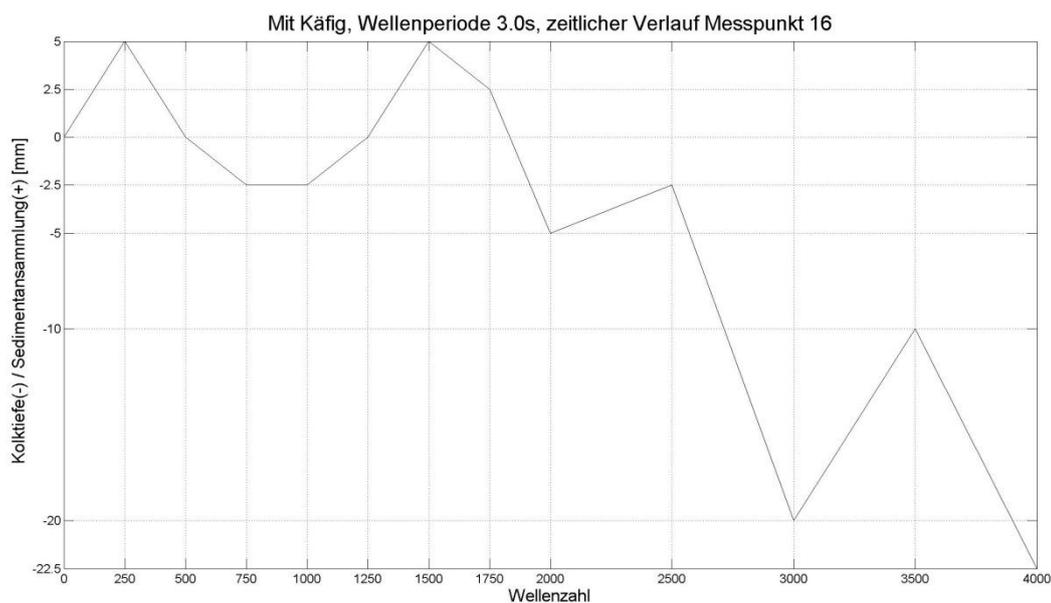


Abb. 104: Zeitliche Entwicklung der Kolkentiefe an der Messposition 16 (vgl. Anhang **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) über die Anzahl der Wellen während des Versuch für eine Wellenperiode von 3 s mit Fischaufzuchtkäfig (zentral unter dem Turm)

Räumliche Darstellung entlang der Kanalmittelachse

Die Abb. 105 und Abb. 106 stellen die zeitliche Entwicklung der Kolkentiefe entlang eines Schnittes der Kanalmittelachse von der Position 1-23 (ohne Pos. 8) für die Untersuchungen mit 3,0 s Wellenperiode mit und ohne AKK dar. Hierbei ist ersichtlich, dass in beiden Fällen um die Einbindung des vorderen Pfahls herum ein Kolk erzeugt wird. Die Kolkiefen korrespondieren mit den in Kapitel 7.3.5 dargestellten maximalen Kolkiefen. Im Fall der Kolkentwicklung ohne AKK (Abb. 105) ergeben sich zudem gleichmäßige Kolkflanken. Es zeigt sich jedoch auch eine Tendenz, dass sich die den Wellen zugewandte Kolkflanke etwas steiler darstellt als die abgewandte Flanke. Im zeitlichen Verlauf ist zunächst nach rd. 250 Wellen eine Auflandung unterhalb des Turmes zu erkennen, die jedoch im Verlauf des Versuchsfortschritts erodiert und mit Endkolkentiefe einen negativen Wert annimmt.

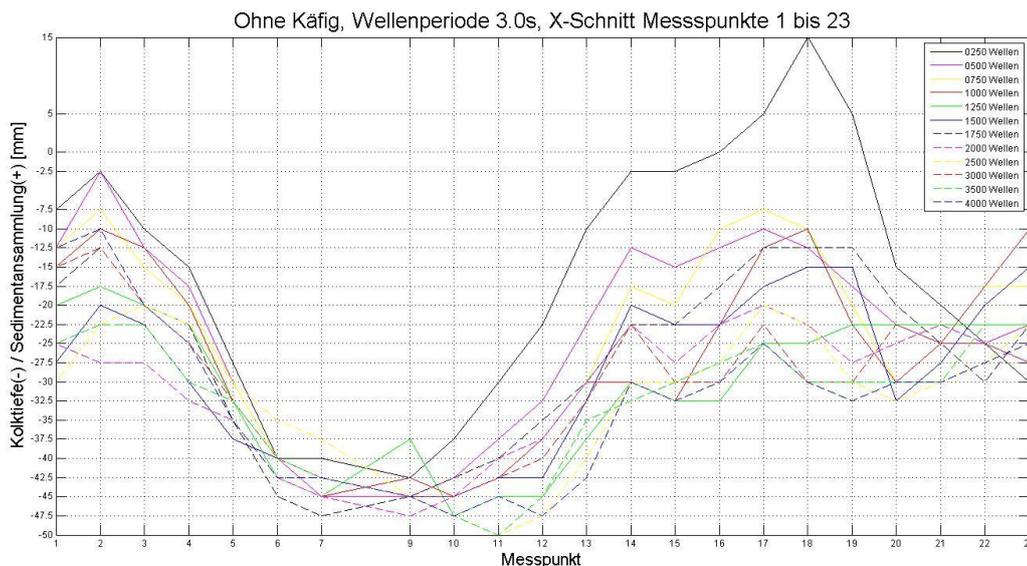


Abb. 105: Verlauf der Oberfläche des Sandbettes entlang der Kanalmitellachse von der Messposition 1 bis 23 ohne Pos. 8 entsprechend der Anzahl an Wellen für eine Wellenperiode von 3,0 s ohne AKK

Entgegen der Kolkentwicklung ohne AKK ist insbesondere die Oberflächenveränderung unterhalb des Turmes bzw. des AKK deutlich abweichend von der Entwicklung ohne AKK. Die den Wellen abgewandte Kolkflanke ist in diesem Fall steiler als die vordere Flanke. Weiterhin zeigt sich, dass die ebenfalls eintretende Auflandung unterhalb des AKK deutlich später erodiert wird und auch die Endkolkentiefe in diesem Bereich sehr viel geringer ist. Ein Grund für diese Entwicklung ist aus dem Vergleich der Versuche heraus in dem Vorhandensein des AKK zu sehen, der die Geschwindigkeitsdynamik im Bereich des zu erodierenden Materials zugunsten geringerer Kolkiefen beeinflusst. Dies ist jedoch aufgrund der ohnehin geringen Kolkiefen für die Bemessung einer in-situ TriPile-Gründung nicht relevant.

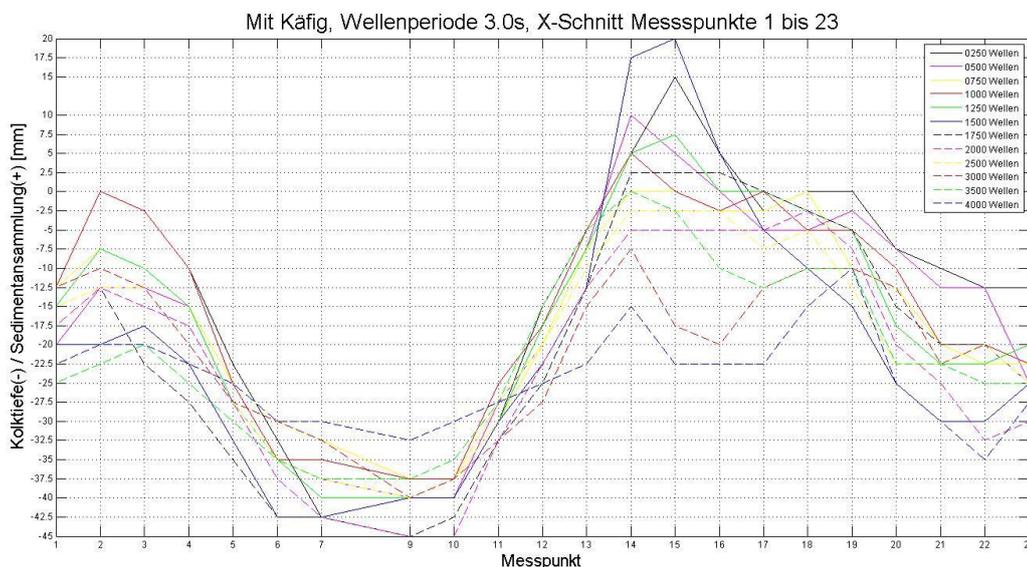


Abb. 106: Verlauf der Oberfläche des Sandbettes entlang der Kanalmitellachse von der Messposition 1 bis 23 ohne Pos. 8 entsprechend der Anzahl an Wellen für eine Wellenperiode von 3,0 s mit AKK

Vergleich der Messungen mit theoretischen Kolkiefen

Mithilfe der vorigen Kapitel und lässt sich abschätzen inwieweit theoretische Erkenntnisse und Ergebnisse aus den Messungen sich treffen. Die Tab. 52 vergleicht die theoretischen relativen Kolkiefen mit gemessenen Werten aus den durchgeführten Versuchen. Es zeigt sich, dass aus der

Theorie von Sumer und Fredsøe (2002) eine Unterschätzung der Ausgleichskolkentiefe erfolgt, die mit den Versuchsergebnissen nicht korrespondiert. Es ist allerdings ebenfalls deutlich, dass diese theoretische Herleitung nicht für eine Interaktion mit AKK im Hinblick auf Kolkprozesse entwickelt worden ist. Über eine Anpassung des Koeffizienten, wie beispielsweise von Melville und Coleman (2000) vorgeschlagen, lässt sich eine zufriedenstellende Übereinstimmung finden. Dieses Vorgehen scheint zwar in diesem Fall zielführend zu sein, es ist jedoch nicht empfehlenswert, allgemeingültige Aussagen hieraus abzuleiten, da Modellunsicherheiten und Laboreffekten beachtet werden müssen. Weiterhin ist es im Rahmen der Versuch nicht möglich gewesen, den kombinierten Einfluss von Wellen und Strömung zu untersuchen.

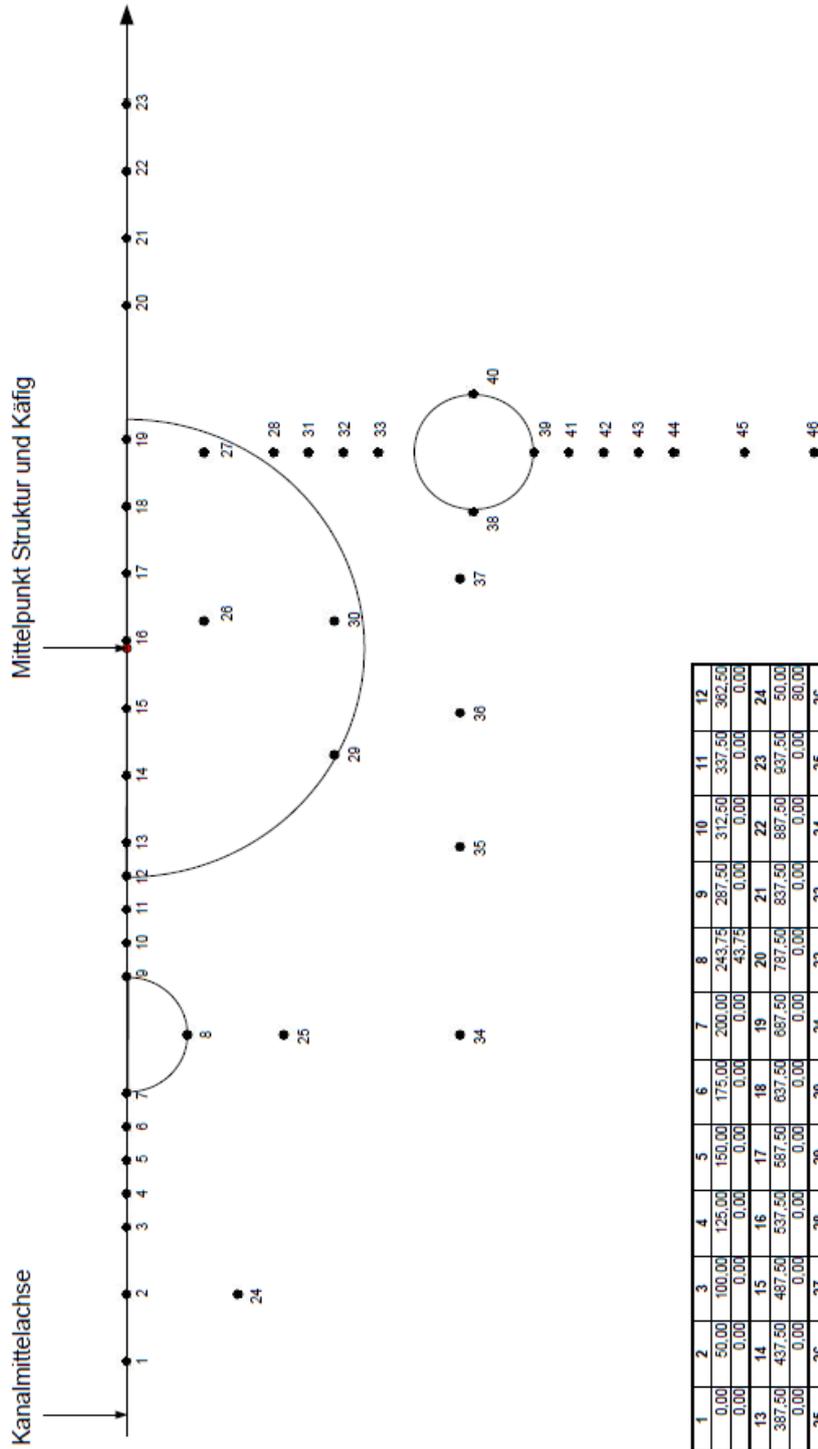
Tab. 52: Gegenüberstellung von theoretischen und gemessenen Kolkiefen

Periode	S/D (Messpunkt 7) [mm]	Theorie (Sumer und Fredsøe 2002b)	Theorie (Melville und Coleman 2000)
2,2 s (mit Käfig)	0,25	0,14	0,23
3,0 s (mit Käfig)	0,48	0,32	0,49
3,0 s (ohne Käfig)	0,54	-/-	-/-

7.4.6 Anhang: Ergänzungsmaterial zur Kolktiefermittlung

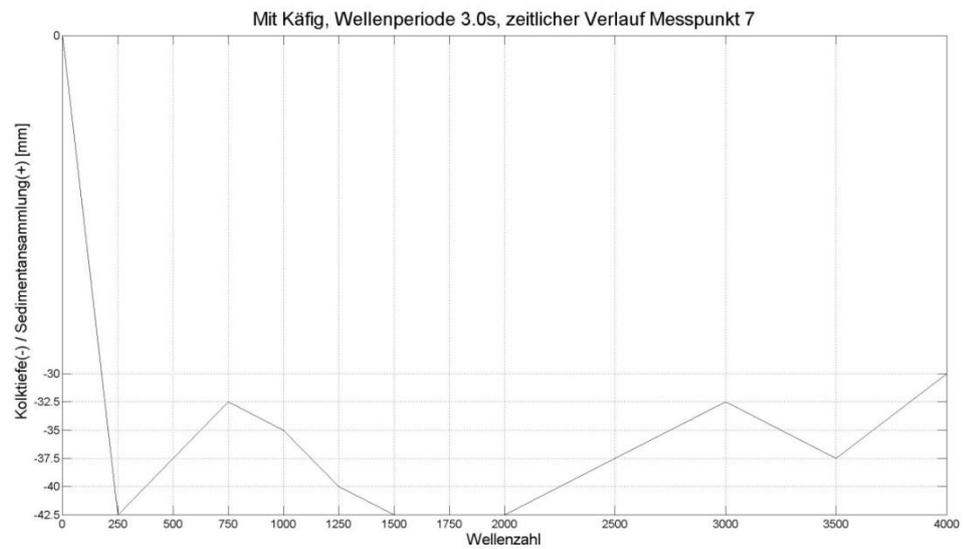
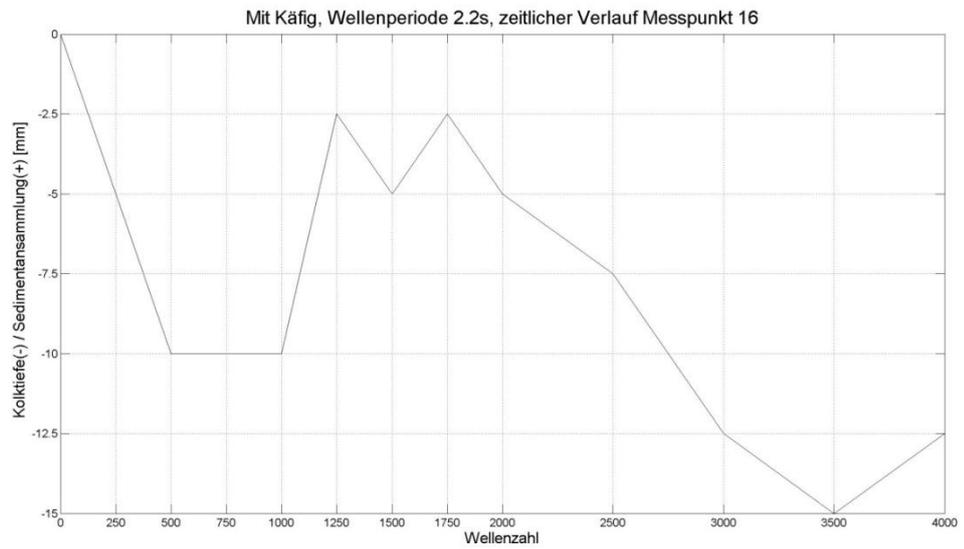
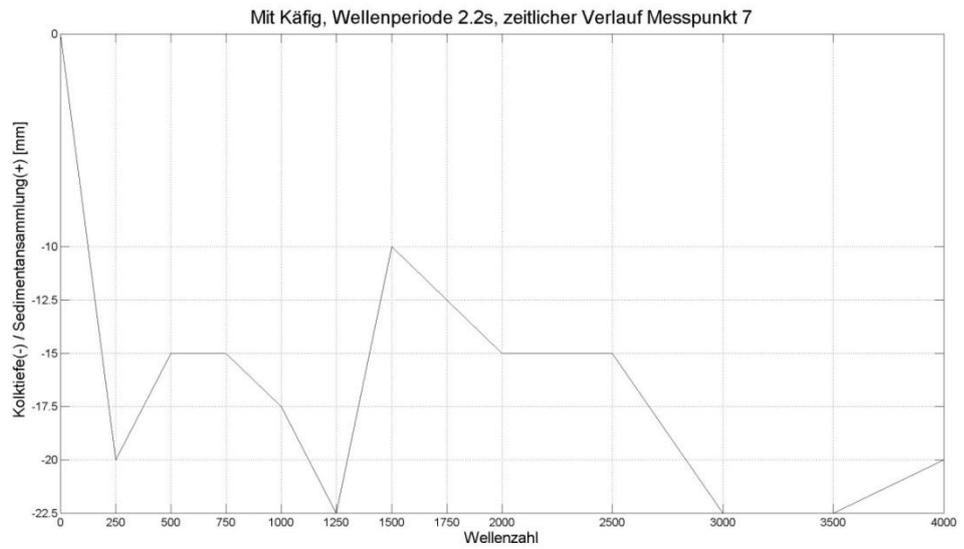
A.1 Lage der Messpositionen

Versuchsaufbau, Bemaßung und Lage der Messpunkte



A2

Zeitliche Entwicklung der Kolktiefe an verschiedenen Messpositionen über die Anzahl der Wellen



7.5 Abschlussbericht der AG 4 - IKZM, Akzeptanz und Co-Management: Untersuchungen zu IKZM, Akzeptanz und Co-für die Co-Nutzung von OWEAs durch marine Aquakultur

Partner: IMARE, Alle Partner und Unterauftragnehmer

7.5.1 Rechtliche Rahmenbedingungen & Genehmigungsverfahren für Offshore Windparks & Aquakultur

Methodik

In den ersten Monaten wurde gemäß Zeitplan eine weitreichende Literaturstudie durchgeführt, mit der die rechtlichen und managementrelevanten Aspekte für eine Co-nutzung ermittelt wurden.

Die Studie behandelte zwei Themenkomplexe: 1) eine Analyse relevanter Gesetzgebung, und 2) eine Ermittlung aktueller und potentieller Genehmigungsverfahren für Offshore-Aquakulturanlagen. Für die Ermittlung rechtlicher Rahmenbedingungen wurden Regularien auf Länder-, Bundes-, und EU-Ebene hinsichtlich ihrer Relevanz für eine multiple Nutzung des Meeresraumes untersucht und in einem Bericht zusammengetragen. Eine ausführliche Liste relevanter Gesetzgebung wurde erstellt, die sowohl rechtliche Vorgaben als auch rechtlich nicht bindende Absichtserklärungen auf nationaler und auf EU-Ebene auflistet und kurz erläutert. Es wurde sowohl für die Aquakultur spezifische, als auch unspezifische Gesetzgebung (z.B. Meeresschutzvorgaben) aufgeführt.

Zum anderen sollten potentielle Genehmigungsverfahren, die für eine multiple Nutzung von Meeresraum wirksam sein könnten, aufgezeigt werden. Als Grundlage wurden hierzu derzeitige Genehmigungsverfahren gemäß Seeanlagenverordnung (SeeAnIV) genommen, die u.a. für die Genehmigung von Windparks in der AWZ Anwendung finden. Das Genehmigungsverfahren wurde in einem weiteren Schritt auf seine Anwendbarkeit für eine Co-nutzung von Offshore-Windkraft und Aquakultur untersucht, soweit bei der derzeitigen unklaren Gesetzeslage möglich. Anhand sowohl eines detaillierten Berichts, als auch eines grafischen Schemas werden die einzelnen Schritte und Anforderungen an den Antragsteller in den verschiedenen Phasen des Genehmigungsverfahrens erörtert. Ein solches Schema ermöglicht potentiellen Investoren, frühzeitig die von ihm zu erbringenden Anforderungen und zeitlichen Abläufe abschätzen zu können.

Die Studie basierte auf einer umfangreichen Internetrecherche und Dokumentenanalyse und wurde abschließend durch gezielte Experteninterviews verifiziert. Bei den erstellten Dokumenten handelt es sich um vorläufige Ergebnisse, die laufend aktualisiert werden. Die vorläufigen Ergebnisse wurden zu Ende der Projektlaufzeit im Rahmen eines Fokusgruppen-Workshops mit Schlüsselakteuren diskutiert und anschließend überarbeitet.

Ergebnisse

Gesetzliche Grundlagen: Die für eine kombinierte Nutzung von Offshore-Windparks und Aquakultur in der Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) maßgebliche Gesetzgebung untergliedert sich zum einen in rechtliche Vorgaben auf EU-Ebene (Gemeinschaftsrecht, in Form von Richtlinien und Verordnungen), und zum anderen die relevante nationale Gesetzgebung. Des Weiteren lässt sich unterscheiden zwischen rechtlich bindenden Vorgaben (Gesetze, Verordnungen) und nicht rechtlich bindenden Absichtsbekundungen und Empfehlungen (sog. *soft law*). Die in Anhang I beigefügte Tabelle gibt einen Überblick über die wesentlichen Gesetze und Empfehlungen.

Im Folgenden werden zusammenfassend einige Aussagen zur derzeitigen Gesetzeslage und zu aktuellen Trends und Entwicklungen getroffen.

Auf der EU Ebene wurden in den vergangenen Jahren Bemühungen unternommen, einen koordinierten Handlungsrahmen für die nachhaltige Nutzung des Meeres zu schaffen. Um einerseits die Meeresumwelt vor negativen Auswirkungen durch kommerzielle Nutzungen wie beispielsweise

Fischerei, Schifffahrt, Meeresbergbau und Nutzung erneuerbaren Energien zu schützen, und andererseits die koordinierte Entwicklung von nachhaltigen Nutzungen zu fördern, hat die Europäische Kommission 2007 die *Integrierte Meerespolitik* (IMP) ins Leben gerufen, welche einen multi-sektoralen und integrierten Ansatz bei der Planung von Meeresnutzungen verfolgt. Als wichtiges Instrument zur Umsetzung der IMP wird die Maritime Raumordnung (MRO) gesehen. Hierzu hat die Europäische Kommission 2008 einen Fahrplan veröffentlicht, der Ansätze und Instrumente identifiziert und gemeinsame Grundsätze für die MRO in der EU postuliert.

Die Umweltsäule der IMP bildet die Meeresstrategierahmenrichtlinie (MSRRL), welche einen Ordnungsrahmen für die Maßnahmen aller EU-Mitgliedsstaaten schafft, um bis 2020 einen „guten Zustand der Meeresumwelt“ in allen europäischen Meeren zu erreichen oder zu erhalten. Alle europäischen Meeresanrainerstaaten sind verpflichtet dies in ihren jeweiligen Meeresregionen durch die Erarbeitung und Durchführung von nationalen Strategien umzusetzen. Bis 2012 soll eine Anfangsbewertung des Zustands der Regionalmeere erfolgen. Hierzu werden naturwissenschaftliche und sozio-ökonomische Daten zu verschiedenen maritimen Nutzungen und deren Auswirkungen auf die Meeresumwelt gesammelt. Auf Basis der Anfangsbewertung werden dann Strategien und Maßnahmenprogramme erarbeitet, um einen guten Zustand der Gewässer zu erhalten oder zu erreichen. Ergänzt wurde die MSRRL durch einen Beschluss der Kommission vom 1. September 2010 über Kriterien und methodische Standards zur Feststellung des guten Umweltzustands von Meeresgewässern.

Hinsichtlich spezifischer Gesetzgebung für die Kultivierung mariner Organismen hat die Europäische Kommission im vergangenen Jahrzehnt eine Reihe von Richtlinien und Verordnungen verabschiedet, die u.a. Gesundheits- und Hygienevorschriften sowie Gewässerqualitätsanforderungen spezifizieren. Um die Entwicklung nachhaltiger Aquakultur in der EU voranzutreiben, wurde 2009 die Mitteilung „Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Zukunft für die Aquakultur: Neuer Schwung für die Strategie für die nachhaltige Entwicklung der europäischen Aquakultur“ veröffentlicht. Die Strategie setzt auf eine führende Rolle der europäischen Industrie in der „blauen Revolution“; mithilfe innovativer Technologien, der Ausarbeitung von Normen und Zertifizierungsverfahren, sowie freiwilligen Kennzeichnungs- und Zertifizierungsregelungen, sollen EU-Erzeuger ihre Produkte auf dem Markt aufgrund ihrer Umweltleistung und hohen Gesundheitsstandards als hochwertige Erzeugnisse positionieren. Insbesondere wird auf potenzielle Synergieeffekte mit anderen maritimen Aktivitäten hingewiesen.

Auch in der reformierten Gemeinsamen Fischereipolitik (GFP) wird die Aquakultur zukünftig vermutlich einen höheren Stellenwert als bisher einnehmen. Inwieweit Vorschläge zur Formulierung spezifischer Ziele und Instrumente der AQ als elementarer Bestandteil der GFP umgesetzt werden, ist zum heutigen Zeitpunkt allerdings noch nicht abschließend zu sagen.

Ebenso wie auf EU-Ebene hat sich auch in Deutschland das rechtliche und politische Rahmenwerk für die Nutzung der Meeresraumes und der Meeresressourcen in der AWZ in den vergangenen Jahren erheblich verändert. Die ambitionierten Klimaschutzziele der deutschen Regierung erforderten einen erheblichen Ausbau der erneuerbaren Energien, und speziell der Offshore-Windenergie wurde eine große Rolle zur Erreichung der Ziele eingeräumt. Hierzu musste der gesetzliche Rahmen und das Planungsverfahren entsprechend angepasst und vereinfacht werden, um einen transparenten, klar strukturierten Rahmen für potentielle Investoren und politische Entscheidungsträger zu schaffen. Im Zuge der gesetzlichen Anpassungen wurde das Raumordnungsgesetz auf die deutsche AWZ ausgeweitet und die Möglichkeit geschaffen, Eignungsgebiete für die Offshore-Windkraft festzulegen. Die Verordnung über die Raumordnung in der deutschen AWZ wurde 2009 verabschiedet und legt Ziele und Grundsätze der Raumordnung hinsichtlich der wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Nutzung, der Gewährleistung der Sicherheit und Leichtigkeit der Seeschifffahrt sowie zum Schutz der Meeresumwelt fest. Zeitgleich wurden Raumordnungspläne für die AWZ in der Nord- und Ostsee festgeschrieben, inklusive Karten und Umweltbericht. Sowohl Windenergienutzung als auch marine Aquakultur – speziell auch in Kombination mit bereits bestehenden Installationen wie Windparks – werden als potentielle Nutzungen genannt.

Des Weiteren wurde bereits 1997 die Seeanlagenverordnung (SeeAnIV) verabschiedet, die die Genehmigung von Installationen kommerzieller Anlagen in der AWZ regelt. Seitdem wurden einige Änderungen vorgenommen, um beispielsweise naturschutzrechtlichen Neuregelungen Rechnung zu tragen, und um die Festlegung von Eignungsgebieten für die Windkraft zu ermöglichen. Das Genehmigungsverfahren ist im Folgenden unter „Genehmigungsprozedere“ detailliert beschrieben.

Verstärkte Bestrebungen zum Schutz der Meeresumwelt schlagen sich ebenso in einer Reihe von Gesetzesänderungen nieder. Das Bundesnaturschutzgesetz wurde zuletzt 2009 novelliert und auf die AWZ ausgedehnt, wodurch die Festlegung von marinen Schutzgebieten gemäß Flora-Fauna-Richtlinie ermöglicht wird. In der Konsequenz müssen zukünftige Seeanlagen im Rahmen der zu erstellenden Umweltverträglichkeitsstudie auf die Auswirkungen auf angrenzende Schutzgebiete eingehen. Zudem wird derzeit das Wasserhaushaltsgesetz überarbeitet, um Vorgaben der MSRRL in nationales Gesetz umzusetzen. Hiermit werden entsprechende Wasserqualitätsstandards gesetzlich verankert. Das Umweltbundesamt ist derzeit mit der Erstellung der Anfangsbewertung der marinen Gewässer beschäftigt und wird voraussichtlich gegen Ende des Jahres eine erste Version zur öffentlichen Beteiligung auslegen. Parallel hierzu wurde 2008 die Nationale Strategie für die nachhaltige Nutzung und den Schutz der Meere veröffentlicht. Während der Offshore-Windenergie ein großer Stellenwert im Rahmen der Strategie eingeräumt wird, ist die marine Aquakultur nicht explizit als potenzielle Nutzung erwähnt.

Was die Aquakultur-spezifische Gesetzgebung in Deutschland angeht, so ist diese derzeit beschränkt auf Regelungen zur landbasierten und küstennahen Aquakultur, wofür die jeweiligen bundesländerspezifischen Gesetze maßgeblich sind. In Ermangelung nationaler Gesetzgebung wäre demnach in der AWZ die EU-Gesetzgebung maßgeblich. Das nationale Seefischereirecht regelt Fischerei in deutschen Hoheitsgewässern, allerdings wird derzeit kein Bezug auf Aquakultur genommen. Dies wird sich jedoch voraussichtlich im Rahmen einer anstehenden Novellierung ändern, welche die Reformen der GFP in nationale Gesetzgebung umsetzen wird. Sollte der Aquakultur im Rahmen der GFP ein größerer Stellenwert eingeräumt werden, so wird sich dies demnach auch im Seefischereirecht widerspiegeln.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Rechtsgrundlage für eine multiple Nutzung des Meeresraums in Deutschland derzeit noch lückenhaft und im Umbruch ist. Zwar wurden in den vergangenen Jahren wesentliche Regularien und Raumordnungsinstrumente auf die AWZ ausgeweitet, um vor allem dem rasanten Wachstum der Offshore-Windenergie Rechnung zu tragen. Inwieweit diese Vorgaben jedoch für Offshore-Marikultur, bzw. eine Co-nutzung anwendbar wären, ist noch ungeklärt.

Koordinationsstruktur / Zuständigkeiten: Als Teil der Stakeholderanalyse (Kapitel 7.5.1) wurde unter anderem eine Institutionenanalyse erstellt, welche Zuständigkeiten von relevanten Institutionen in Bezug auf Offshore-Windkraft und Aquakultur untersucht. Anhang VI gibt einen Überblick über Aufgabenbereiche und hierarchische Zuordnungen der untersuchten Institutionen.

Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens von Seeanlagen gemäß Seeanlagenverordnung, sowie in der Raumplanung in der deutschen AWZ, nimmt das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrografie (BSH) eine zentrale Rolle ein. Die Zuständigkeit des BSH ergibt sich aus § 5 Abs. 1 Nr. 4 i.V.m. § 1 Nr. 10a SeeAufgG. Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens gemäß SeeAnIV koordiniert das BSH die Genehmigung von Projektanträgen, holt sich von den relevanten Fachbehörden Stellungnahmen und von den zustimmungspflichtigen Behörden die erforderlichen Genehmigungen ein. Bislang hat das BSH 2002 Windparks genehmigt; 24 Anträge sind derzeit noch im Verfahren. Da die SeeAnIV für alle Seeanlagen wirtschaftlicher Nutzung (mit Ausnahme passiver Fischerei) maßgeblich ist, würde aller Voraussicht nach auch eine Marikulturinstallation in die Zuständigkeit des BSH fallen. Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens ist zudem die jeweilige Wasser- und Schifffahrtsdirektion (WSD) Zustimmungsbehörde, d.h. sie prüft abschließend, ob das beantragte Projekt die Leichtigkeit und Sicherheit des Seeverkehrs beeinträchtigen könnte. Das Bundesamt für Naturschutz (BfN) prüft zudem ob das Projekt einen Verstoß gegen artenschutzrechtliche oder biotopschutzrechtll che

Verbote darstellt und ggf. ob eine Ausnahme zugelassen werden kann. Andere Behörden wie beispielsweise die oberen Fischereibehörden, BLE, Umweltbundesamt, Wehrbereichsverwaltung und Landesbergamt werden um Stellungnahmen gebeten.

Einige der befragten Stakeholder merkten an, dass - je nach baulichem Konzept der Aquakulturanlage – die Anlage theoretisch auch als „passives Fanggerät der Fischerei“ auslegbar sein könnte, z.B. wenn sie nicht fest mit der Windenergieanlage verankert wäre. In diesem Fall wäre sie von der SeeAnIV ausgenommen und müsste nach dem Seefischereigesetz behandelt werden, wofür dann die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) (nachgeordnete Behörde des BMELV) zuständig wäre. Zudem ist noch unklar, welche Änderungen in Zuständigkeiten die Überarbeitung des Seefischereigesetzes nach sich zieht; sollte die marine Aquakultur ausdrücklich aufgenommen werden, so fiel eine Genehmigung von Aquakulturanlagen in der AWZ eventuell auch automatisch in die Zuständigkeit der BLE.

Es gibt derzeit keine endgültige Klärung, welche Rechtsgrundlage und demnach Zuständigkeiten für die Zulassung eines kombinierten Aquakultur-Windenergie-Vorhabens einschlägig wären. Dies wird sich erst dann abschließend klären lassen, wenn wichtige Gesetzesänderungen verabschiedet wurden und sobald das bauliche Konzept für eine Aquakulturanlage steht und ein entsprechender Antrag bei der Genehmigungsbehörde eingeht.

Aktuelle und potentielle Genehmigungsverfahren für Offshore Co-nutzungen: Die Errichtung und der Betrieb von Anlagen in der AWZ, die wirtschaftlichen Zwecken dienen, bedürfen nach § 2 SeeAnIV einer Genehmigung durch das BSH. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass das Genehmigungsverfahren gemäß SeeAnIV auch für eine kombinierte Windkraft-Aquakultur-Anlage anwendbar wäre. Im Folgenden werden die wesentlichen Grundvoraussetzungen und Abläufe dieses Verfahrens vorgestellt. Eine detaillierte Beschreibung des Verfahrens ist auf den Internetseiten des BSH erhältlich (BSH 2012). Die in blau unterlegten Textboxen beinhalten Anmerkungen von Interviewpartnern zum Prozedere.

Grundvoraussetzungen für die Genehmigung:

In § 3 SeeAnIV sind die materiellen Genehmigungsvoraussetzungen in Form von Versagungsgründen aufgeführt. Generell ist eine Genehmigung für einen Windpark zu erteilen, wenn:

- die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs nicht beeinträchtigt,
- die Meeresumwelt nicht gefährdet wird, und
- die Erfordernisse der Raumordnung (Beachtung der Ziele und Berücksichtigung der Grundsätze der Raumordnung) oder sonstige überwiegende öffentliche Belange (Rohstoffsicherung, Landesverteidigung und Fischerei) nicht entgegenstehen.

§ 3 SeeAnIV räumt keinerlei Ermessen ein, so dass die Genehmigung eine sogenannte gebundene Entscheidung darstellt. In Folge dessen besteht ein Rechtsanspruch auf Errichtung des Offshore-Windparks, wenn keiner der Versagungsgründe (a-c, siehe oben) vorliegt, bzw. diese durch eine Befristung, durch Bedingungen oder Auflagen verhütet oder ausgeglichen werden können.

Änderung seit 2008

Seit 2008 (Änderung der SeeAnIV) müssen auch Auswirkungen auf Fischerei geprüft werden. Hierbei wird geprüft, ob (kumulativ) die Schwelle der Erheblichkeit überschritten wird. Erst wenn die Fläche der genehmigten Windparks so groß ist, dass die Auswirkungen auf die Fischerei als „erheblich“ eingestuft werden, ist dies ein Versagensgrund (diese Schwelle liegt bei 25.000 Megawatt, d.h. min 5000 Einzelbauwerke, pers comm Dahlke). Die Windparkbetreiber müssen in ihrem Antrag hierzu Stellung nehmen; die eigentliche Prüfung obliegt allerdings dem BSH. Hierzu werden Stellungnahmen von Fischereivertretern und Information vom VTI und BLE eingeholt. (pers comm Nolte)

Genehmigungsprozedere: Die Abbildung 107 bildet das Genehmigungsverfahren gemäß SeeAnIV schematisch ab. Im Folgenden werden die wesentlichen Verfahrensschritte erläutert (BSH 2012).

Bei Einreichen eines Antrags wird zunächst geprüft, ob dieser hinreichend detailliert und bestimmt ist. Der Antrag enthält Beschreibungen über das Projekt (Gründe für Standortwahl, Angaben zur Pilotphase, konkurrierende Nutzungen), technische Konzeption, Zeitablauf, sowie erste Beschreibung und Bewertung der ökologischen Schutzgüter. Sollten wesentliche Angaben fehlen, so wird dem Antragssteller Gelegenheit zur inhaltlichen Überarbeitung gegeben. Gleichzeitig werden in einer 1. Beteiligungsrunde die betroffenen Träger öffentlicher Belange (enger Kreis von Behörden und sonstigen Stellen, z.B. Wasser- und Schifffahrsdirektionen, Landesbergamt, Umweltbundesamt, Bundesamt für Naturschutz, Wehrbereichsverwaltung, Bundesforschungsanstalt für Fischerei, Bundesamt für Landwirtschaft und Ernährung, AWI) über das beantragte Vorhaben informiert und um Stellungnahme gebeten. Im Anschluss wird den Antragstellern Gelegenheit gegeben, ihre Unterlagen zu ergänzen bzw. überarbeiten.

Der Kreis der Beteiligten wird nach Auswertung der ersten Stellungnahmen im Rahmen einer 2. Beteiligungsrunde nochmals erweitert. Hierbei werden auch Interessenverbände (z.B. Naturschutz, Groß- und Kleinschiffahrt-, Fischerei- und Windenergieverbände) in das Verfahren einbezogen: Kreise und Gemeinden, Verband Deutscher Reeder, DSV, Fischereiverband, WWF, BUND, Nabu, Schutzstation Wattenmeer, Schutzgemeinschaft Deutsche Nordseeküsten etc; Bergbauberechtigte, Pipelinebetreiber. Außerdem werden die für das Küstenmeer zuständigen Bundesländer frühzeitig einbezogen, welche über die Genehmigung der im Küstenmeer zu verlegenden stromabführenden Kabelsysteme entscheiden. Parallel erfolgt eine Beteiligung der Öffentlichkeit durch Auslegung der Antragsunterlagen und Gelegenheit zur Stellungnahme. Im Fall von grenzüberschreitenden Aspekten werden außerdem Behörden in den entsprechenden Nachbarstaaten beteiligt.

Im Anschluss an die 2. Beteiligungsrunde findet eine Antragskonferenz statt, im Rahmen derer der Antragsteller Gelegenheit hat, sein Projekt vorzustellen. Ferner werden etwaige entgegenstehende Belange und konkurrierende Nutzungen diskutiert sowie ein Untersuchungsrahmen zur Ermittlung von möglichen Auswirkungen auf die marine Umwelt festgelegt.

Spätestens jetzt muss für Untersuchungen investiert werden: auf Grundlage der ökologischen Untersuchungen erstellt der Antragsteller eine Umweltverträglichkeitsstudie (UVS). Bei Windparkvorhaben mit mehr als 20 Anlagen ist grundsätzlich eine solche UVS gemäß Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz (UVP) durchzuführen. Zu diesem Zweck muss der Antragsteller die Meeresumwelt in dem beplanten Gebiet untersuchen und die Auswirkungen des Vorhabens auf die einzelnen Schutzgüter der Meeresumwelt (z.B. Vögel, Fische, Meeressäuger, Benthos, Boden und Wasser) prognostizieren. Weiterhin werden mögliche Kollisionshäufigkeiten von Schiffen mit dem installierten Windpark im Rahmen einer Risikoanalyse ermittelt.

Nachdem der Antragsteller die Unterlagen dem BSH zugeleitet hat, werden sie an die Träger öffentlicher Belange und Verbände (wie in 2. Runde) mit Gelegenheit zur Stellungnahme versandt (3. Beteiligungsrunde). In einem anschließenden Erörterungstermin werden die Stellungnahmen und Hinweise zu den betroffenen Schutzgütern der Meeresumwelt, der Schiffssicherheit und sonstigen betroffenen Nutzungen mit den Beteiligten diskutiert. Parallel findet erneut eine Beteiligung der Öffentlichkeit durch Auslegung der Unterlagen im BSH und der Möglichkeit zur Stellungnahme statt.

Im Anschluss überprüft das BSH, ob die Voraussetzungen für die Erteilung einer Genehmigung vorliegen, sowie ggf. ob und in welcher Form Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen oder Ersatzgelder zu leisten sind (hierzu hat das BSH die "Leitsätze für die Anwendung der Eingriffsregelung in der AWZ" herausgegeben). Vor Erteilung einer Genehmigung ist die Zustimmung der örtlich zuständigen Wasser- und Schifffahrsdirektion (WSD) unter dem Gesichtspunkt der Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs gemäß § 6 SeeAnIV einzuholen. Das Bundesamt für Naturschutz prüft auf Grundlage der UVS, ob ein Verstoß gegen artenschutzrechtliche oder biotopschutzrechtliche Verbote vorliegt und ggf. ob eine Ausnahme zugelassen werden kann. Gemäß §56 Abs. 1 BNatSchG finden die Regelungen über den Arten- und Biotopschutz in der AWZ Anwendung und werden durch das Bundesamt für Naturschutz ausgeführt (§58 Abs. 1 BNatSchG). Die Regelungen nach §15 BNatSchG über Eingriffe in

Natur und Landschaft finden ebenfalls Anwendung. Eine Ausnahme gilt gemäß §56 Abs. 2 BNatSchG lediglich für Offshore Windparks, die bis zum 1. Januar 2017 genehmigt werden.

Bei positiver Entscheidung der Genehmigungs- und Zustimmungsbehörde ergeht ein Genehmigungsbescheid. Wichtiger Bestandteil der Genehmigung sind die Nebenbestimmungen, die zu einem Großteil standardisiert auf sämtliche vom BSH für Offshore-Windparks erteilte Genehmigungen Anwendung finden. Die Genehmigung ist zeitlich befristet auf 25 Jahre, wonach über eine Verlängerung der Zulassung entschieden werden kann. Zudem muss nach Erhalt des Bescheides innerhalb eines bestimmten Zeitraums mit dem Bau begonnen werden, um zu vermeiden, dass Areale für zukünftige Nutzungen blockiert werden.

Die Entscheidung über den Antrag wird in den Nachrichten für Seefahrer (NfS) sowie in zwei überregionalen Tageszeitungen bekannt gemacht und im BSH öffentlich ausgelegt. Außerdem wird sie an alle im Verfahren beteiligten Träger öffentlicher Belange und Interessensverbände versandt.

Die Gesamtdauer eines Genehmigungsverfahrens kann ohne erhebliche Verzögerungen ca. 2-3 Jahre betragen; da es in der Praxis jedoch häufig zu unvorhergesehenen Verzögerungen kommt, liegen viele Verfahren im Durchschnitt bei 4 Jahren (Licht-Eggert und Gee 2006).

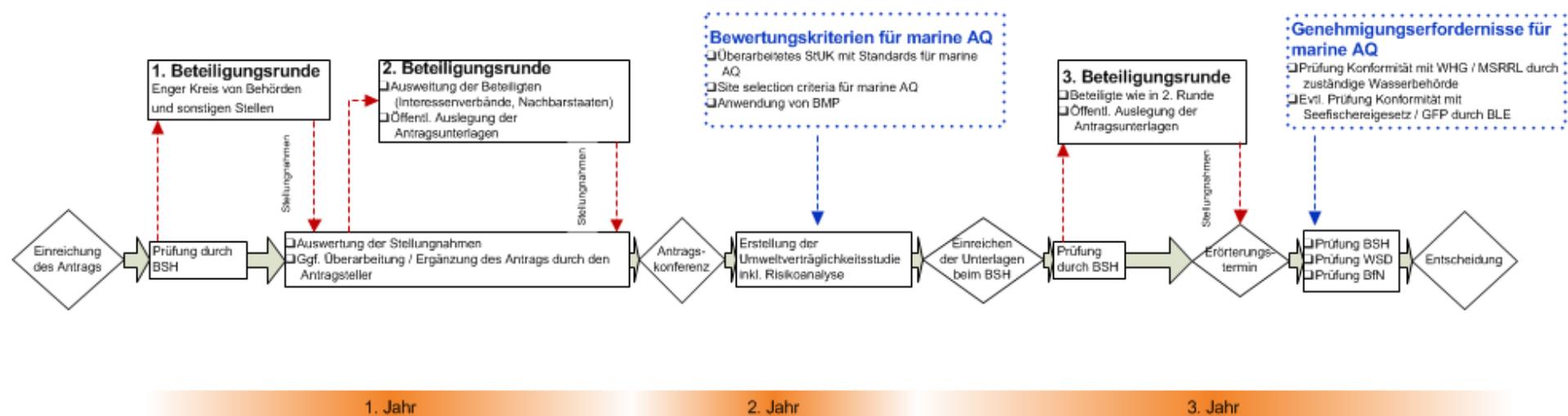
Nach erfolgter Genehmigung ist die jeweilige Wasser- und Schifffahrtsdirektion (WSD) zuständig für die Einrichtung einer Sicherheitszone, die nur vom Anlagenbetreiber (d.h. Windparkbetreiber ebenso wie AQ-Betreiber) und grundsätzlich Schiffen unter 24m befahren werden darf. Die WSD kann bei Sicherheitsbedenken weitere Einschränkungen machen (Befahrensverbot z.B. bei Nacht, Sturm, Nebel). Hierzu wird eine Allgemeinverfügung erlassen. Die einzelnen WSDen (Nord, Nordwest) legen entsprechend den Anforderungen der Region dann fest, welche Einschränkungen sie vornehmen (z.B. Alpha Ventus: die Befehrsanlage ist noch nicht intakt, daher wird dort striktes Befahrensverbot festgelegt) (*pers comm Kurtz*).

Abb. 107: Genehmigungsverfahren für Seeanlagen in der AWZ.

Genehmigungsverfahren für Seeanlagen in der AWZ

(gemäß Seeanlagenverordnung)

Stand 22 Aug 2011



Abkürzungen:

BfN: Bundesamt für Naturschutz

BSH: Bundesanstalt für Seeschifffahrt und Hydrographie

WSD: Wasser- und Schifffahrtsdirektion(en)

Standarduntersuchungskonzepte: Das BSH hat ein Regelwerk herausgegeben (das sogenannte Standarduntersuchungskonzept – StUK), das den Antragstellern den grundsätzlich für erforderlich gehaltenen Untersuchungsumfang für die einzelnen Schutzgüter vorgibt. Das StUK beinhaltet drei Regelwerke:

- Der Standard „Baugrunderkundung für Offshore-Windenergieparks“ enthält verbindliche Mindestanforderungen und konkrete Vorgaben für die erforderliche geologisch-geophysikalische und geotechnische Baugrunduntersuchung,
- Der Standard „Konstruktive Ausführungen von Offshore-Windenergieanlagen“ formuliert verbindliche Vorgaben für die Konstruktion der verschiedenen baulichen Komponenten, und
- Der Standard „Untersuchung der Auswirkungen von Offshore-Windenergieanlagen auf die Meeresumwelt“ (StUK 3) gibt den Untersuchungsumfang für die einzelnen Schutzgüter vor.

Genehmigungsverfahren von Aquakulturanlagen

Da sich Aquakultur in Deutschland derzeit auf landbasierte und küstennahe Anlagen beschränkt, gibt es keine gesetzlichen Regelungen zu der Genehmigung von Offshore-Aquakulturanlagen. Für die Genehmigung von landbasierten und küstennahen Anlagen ist die Gesetzgebung auf Bundesländerebene einschlägig. Auch wenn die Abläufe und Vorgaben z.T. nicht einheitlich sind, lassen sich einige wesentlich prozedurale Schritte und Genehmigungserfordernisse zusammenfassen.

Rahmengesetzgebung für die Genehmigung von Aquakulturanlagen ist die Fischseuchenverordnung, die die Richtlinie 2006/88/EG des Rates vom 24. Oktober 2006 mit Gesundheits- und Hygienevorschriften für Tiere in Aquakultur und Aquakulturerzeugnisse und zur Verhütung und Bekämpfung bestimmter Wassertierkrankheiten in nationales Gesetz umsetzt. Abschnitt 2 regelt die Genehmigung und Registrierung von Aquakulturbetrieben. Demnach bedürfen Betriebe, die für den menschlichen Verzehr und zu gewerblichen Zwecken gezüchtete Fische halten, einer Genehmigung durch die zuständige Behörde. §4 spezifiziert die grundsätzlichen Voraussetzungen für eine Genehmigung. Die Genehmigung kann – auch nachträglich – mit Auflagen verbunden werden, z.B. zu bestimmten Verfahrensabläufen, Sicherheitsvorkehrungen, und bestimmten Ausstattungen des Betriebes.

Zusätzlich zu den Auflagen gemäß Fischseuchenverordnung müssen noch eine Reihe von weiteren Genehmigungserfordernissen im Zuge des Genehmigungsverfahrens abgearbeitet werden. Tabelle 53 stellt die Erfordernisse für die Fischzucht in Netzgehegeanlagen beispielhaft dar. Betriebe mit offenen Systemen müssen grundsätzlich eine wasserrechtliche Erlaubnis für das Einbringen von Stoffen vorweisen, um gemäß §2 des Wasserhaushaltsgesetzes die Einhaltung der Wasserqualitätsstandards zu gewährleisten. Grundsätzlich ist für „Intensive Fischzucht mit Einbringen oder Einleiten von Stoffen in oberirdische Gewässer oder Küstengewässer“ gemäß UVPG eine Allgemeine Vorprüfung des Einzelfalls von der zuständigen Behörde durchzuführen (FZ Jülich 2002). Ob, und in welchem Umfang, im Einzelfall eine Umweltverträglichkeitsstudie erforderlich ist, richtet sich nach den Vorgaben des jeweiligen Landes-UVP-Gesetz. Wenn artenschutzrechtliche und biotopschutzrechtliche Belange, Schutzgebiete sowie nach Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie zu schätzende Gebiete und Europäische Vogelschutzgebiete betroffen sind, können weitergehende naturschutzrechtliche Zulassungsverfahren erforderlich sein (FZ Jülich 2002). Die naturschutzrechtliche Eingriffsregelung ist in den Landesnaturschutzgesetzen festgeschrieben und muss in jedem Einzelfall im Zuge des Genehmigungsverfahrens mit abgearbeitet werden. Hiernach legt sich beispielsweise fest, ob Ersatzmaßnahmen oder Ausgleichszahlungen geleistet werden müssen, und welche Maßnahmen zur Vermeidungs-/Minimierungspflicht vom Betreiber vorgenommen werden.

Anlagen in Küstengewässern benötigen zusätzlich noch eine Strom- und Schifffahrtspolizeiliche Genehmigung gemäß Bundeswasserstraßengesetz. Fischereiliche Bedenken werden nur in Form

einer Stellungnahme durch die zuständige Fischereibehörde berücksichtigt; eine fischereiliche Zulassung ist indes nicht erforderlich (FZ Jülich 2002).

Tabelle 53: Genehmigungserfordernisse beim Bau und Betrieb von Aquakulturanlagen (Auszug aus FZ Jülich 2002)

	Wasser- behörde	Naturschutz- Behörde	Fischerei- behörde	Bundeswasser- straßenverwaltung
Fischzucht in Netzgehegeanlagen in Küstengewässern	Wasserrechtliche Erlaubnis für Einbringen von Stoffen	Eingriffsregelung, ggf. weitergehende naturschutzrechtliche Zulassungsverfahren	Stellungnahme	strom- und schifffahrtspolizeiliche Genehmigung

Potentielle Genehmigungsverfahren für integrierte Offshore-Windenergie/Aquakultur-Anlagen:

Die Zulassung von kombinierten Windkraft-Aquakulturanlagen würde aller Voraussicht nach der Struktur und den Vorgaben des Genehmigungsverfahrens gemäß SeeAnIV folgen, allerdings unter Berücksichtigung der üblichen Genehmigungserfordernisse für landbasierte und küstennahe Aquakulturanlagen. Um das in Kapitel 7.5.1 (Genehmigungsprozedere) beschriebene Verfahren auf eine an die Windenergieanlage angekoppelte Aquakulturanlage anwenden zu können, müsste das bestehende Verfahren entsprechend angepasst werden. Die in Grafik 107 in blau markierten Kästchen heben einige der für die Aquakultur zu berücksichtigenden Verfahrensschritte hervor.

- Grundsätzlich muss zu jeglicher Installation im Gebiet eines Windparks zunächst der Betreiber zustimmen (auch dann, wenn es keine direkte Verankerung mit den Windmühlen gibt, z.B. bei passiver Fischerei). Es muss einen zivilrechtlichen Vertrag mit dem Betreiber geben, da er Genehmigungsinhaber für das gesamte Gebiet des Windparks ist (*pers comm Kurtz*). Allerdings sind rechtliche Aspekte der Eigentumsregelungen noch gänzlich unklar-
- Die bestehende Struktur des Genehmigungsverfahrens mit den verschiedenen Abläufen und Verfahrensschritten ist grundsätzlich auch auf eine integrierte Windenergie-Aquakultur-Anlage anwendbar. Die Öffentlichkeitsbeteiligung müsste allerdings um die entsprechenden Behörden und Interessengruppen (Stakeholder) erweitert werden. Die in Kapitel 7.5.1 vorgestellte Stakeholderanalyse bietet einen Überblick über wesentliche Stakeholder und deren Interessen, Einstellungen, Bedenken zu einer solchen Co-nutzung.
- Für die Genehmigung eines Windparks zwingend erforderlich sind Zulassungen durch die zuständige WSD hinsichtlich Leichtigkeit und Sicherheit der Schifffahrt, und durch das BfN hinsichtlich naturschutzrechtlicher Belange. Um den Prüfungsanforderungen für Aquakulturanlagen gerecht zu werden, müssten darüber hinaus voraussichtlich zusätzliche Zulassungen eingeholt werden, insbesondere bezüglich der Gewährleistung von Wasserqualität (zu prüfen durch die zuständige Wasserbehörde), und evtl. eine fischereiliche Zulassung (zu prüfen durch das BLE). Das BSH bliebe nichtsdestotrotz die zentrale Genehmigungsbehörde, die dann im Zuge des Verfahrens die jeweiligen Zulassungen/Genehmigungen durch die Fachbehörden einholen würde.
- Die zu erstellende Umweltverträglichkeitsstudie müsste zwingend auch Auswirkungen durch die Aquakulturnutzung berücksichtigen, beispielsweise hinsichtlich Wasserqualität. Die Standarduntersuchungskonzepte (StUK) müssten dementsprechend angepasst werden, um den Anforderungen der Aquakultur gerecht zu werden. Entweder die bestehenden Regelwerke würden dementsprechend erweitert, oder ein eigenes Regelwerk für die Marikultur müsste entwickelt werden.

- Um zu gewährleisten, dass durch das Anbringen beispielsweise eines Fischkäfigs am Fundament keine negativen Auswirkungen auf die WEA verbunden sind, müsste die Aquakulturanlage zertifiziert werden. Dies kann entweder im Rahmen des gemeinsamen Genehmigungsantrags geschehen, wenn die Aquakulturanlage zeitgleich mit der WEA beantragt wird. Oder aber es wird nachträglich geprüft/zertifiziert, wenn die WEA bereits genehmigt ist. In diesem Fall gibt es noch keine Baufreiheit, bis die Prüfung abgeschlossen ist (*pers comm Nolte*). Technische Standards unter Berücksichtigung von Best Practices in der Offshore-Marikulturtechnik müssten erarbeitet werden.
- Hilfreich sowohl für die Antragsteller, als auch für die Entscheidungsträger (Genehmigungsbehörde) wäre das Festlegen von Kriterien zur Bestimmung von Eignungsgebieten, die bei der Auswahl von geeigneten Gebieten für eine solche Co-nutzung als Entscheidungshilfe zur Verfügung stünden.

Sonstige Anmerkungen:

- Laut BSH soll es in Zukunft ein Planfeststellungsverfahren für Windparks geben (so steht es im Energiekonzept der Bundesregierung). Die Idee ist, das Genehmigungsverfahren schlanker zu gestalten. Sämtliche Stellungnahmen und erforderliche Genehmigungen sollen in das Verfahren aufgenommen werden. Das Planfeststellungsverfahren hat eher verfahrensmäßige als inhaltliche Folgen für die Genehmigung. Es wird sich nicht auswirken auf die Genehmigungspflicht bestimmter Anlagentypen. Evtl. wird hierdurch eine räumliche Steuerung bei der Genehmigung von Windparks im Sinne der Raumplanung ermöglicht (z.Zt. ist es so, dass man Windparks nur dann ablehnen kann, wenn Versagensgründe bestehen – die Genehmigung ist also auch außerhalb von Vorranggebieten möglich). Es ist denkbar, dass man bei einer neuen Struktur in Form eines Planfeststellungsverfahrens mehr zu einer Abwägung der Interessen kommt. (*pers comm Nolte, Dahlke*)
- Aus Sicht der Genehmigungsbehörde wäre eine Fachpolitik für Fischerei und Aquakultur sinnvoll, welche nicht nur Ziele für den Sektor, sondern auch Strategien für multiple Nutzungen benennt. Auf der Grundlage könnten man dann die Interessen in der Raumordnung berücksichtigen, und darauf könnte man auch ein öffentliches Interesse begründen und gegenüber anderen Nutzungen besser abwägen und evtl. Vorrang einräumen. (*pers comm Dahlke, Nolte*)
- Evtl. sind auch andere Nutzungen in Windparks denkbar, z.B. passive Fischerei. Passive Fischerei in Windparks könnte durchaus genehmigt werden, z.B. Stellnetze, Fischfallen, evtl. auch traditionelle Fischerei mit Langleinen. Momentan besteht ein Befahrensverbot der Sicherheitszone für Schiffer länger als 24 m. Für kleinere Fahrzeuge könnte die WSD Ausnahmen machen. Ausnahmen gibt es z.Zt. für Wartungsfahrzeuge und search & rescue. Fischerei mit Grundschleppnetzen und Treibnetzen wird allerdings definitiv nicht erlaubt sein. Mangels Druck und Nachfrage und mangels entsprechenden Baufortschritts ist das in Deutschland noch nicht aktuell geworden. Aber grundsätzlich besteht die Möglichkeit, dass es dazu Ausnahmen gibt. (*pers comm Nolte, Dahlke*)

Internationalen Vergleich

Kein Land scheint derzeit ein gesetzlich festgeschriebenes Genehmigungsverfahren für marine Aquakultur in der AWZ zu besitzen. Auch für multiple Nutzungen in der AWZ gibt es unseres Wissens keine entsprechenden Regelwerke. In den USA gibt es jedoch seit einiger Zeit Bemühungen, einen gesetzlichen Rahmen für nachhaltige Aquakultur in der AWZ zu schaffen. Hierzu wurden verschiedene Forschungsvorhaben gefördert, Arbeitsgruppen (task forces) gegründet, und Gesetzesvorschläge erarbeitet. Auch haben internationale wissenschaftliche Arbeitsgruppen wie die Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP) – ein Zusammenschluss von Experten aus den Institutionen IMO/FAO/UNESCO/IOC/WMO/WHOI/-

IAEA/UN/UNEP – Richtlinien und Empfehlungen zu küstennaher Aquakultur erarbeitet, die sich teilweise auf marine Aquakultur übertragen lassen.

Die folgenden Abschnitte greifen wesentlich auf diese Studien und Gesetzesvorlagen zurück und stellen einige wesentliche Aspekte und Empfehlungen vergleichend zu der derzeitigen Situation/Rechtslage in Deutschland dar. Die in blau hinterlegten Kästen beinhalten vergleichende Aspekte aus Deutschland.

Governance-Struktur: rechtlich-politisch-institutionelle Rahmenbedingungen: Für eine langfristig orientierte, strategische Förderung von mariner Aquakultur in der AWZ sind eine auf hoher politischer Ebene formulierte Strategie, eine entsprechende Rahmengesetzgebung, und eine kohärente institutionelle Struktur unabdingbar. Die Notwendigkeit dieses im englischen unter dem Begriff „governance structure“ zusammengefassten rechtlich-politischen Rahmens ist von einer Vielzahl von Berichten und Studien hervorgehoben worden (z.B. NRC 1992, Pew Oceans Commission 2003, U.S. Commission on Ocean Policy 2004, Cicin-Sain et al. 2005).

Die FAO (2010) hat in ihrem Leitfaden für einen ökosystembasierten Ansatz in der Aquakultur auf die Notwendigkeit hingewiesen, Prinzipien und Grundsätze für eine ökosystembasierte Aquakulturplanung auf höherer politischer Ebene zu verankern. Planungsstufen beinhalten die Formulierung einer politischen Linie (Vision), einer Strategie (Fahrplan für die Umsetzung der Vision) und eines Aktionsplans zur Umsetzung der Strategie. Öffentliche Beteiligung in allen Planungsstufen sollte garantiert werden.

Auch der Verhaltenskodex für verantwortungsvolle Fischerei, Artikel 9 zur Entwicklung der Aquakultur, spricht sich dafür aus, dass Staaten Strategien und Pläne zur Entwicklung der Aquakultur entwickeln und gegebenenfalls regelmäßig aktualisieren, um sicherzustellen, dass die Aquakulturentwicklung ökologisch nachhaltig ist und um eine rationelle Nutzung der Ressourcen zu ermöglichen, an denen die Aquakultur und sonstige Tätigkeiten teilhaben.

In den USA gibt es seit einigen Jahren Bestrebungen, Aquakultur in der AWZ stärker zu fördern und hierzu einen gesetzlichen und politischen Rahmen zu entwickeln. Cicin-Sain et al. (2001, 2005) haben eine umfangreiche Bewertung der „governance“-Struktur des marinen Aquakultursektors sowohl in den USA als auch vergleichend in anderen Ländern vorgenommen. Der Bericht „Development of a Policy Framework for Offshore Marine Aquaculture in the 3-200 mile U.S. Ocean Zone“ (Cicin-Sain et al. 2001) fasst wesentliche Schwächen und Stärken von Genehmigungsverfahren und rechtlichen Rahmenbedingungen für marine Aquakultur der Länder Norwegen, Großbritannien, Irland, Kanada, Chile, Australien, Neuseeland, Japan und den USA zusammen. Die von der Woods Hole Oceanographic Institution und den Pew Charitable Trusts ins Leben gerufene Marine Aquaculture Task Force (bestehend aus Vertretern aus Wissenschaft, Politik, öffentlicher Verwaltung und Wirtschaft) setzte sich intensiv mit den Herausforderungen, Risiken und Möglichkeiten von mariner Aquakultur auseinander, und erarbeitete u.a. Vorschläge für einen gesetzlichen und politischen Rahmen (Marine Aquaculture Task Force 2007). 2008 reichte das Government Accountability Office (GAO) einen Bericht an das Natural Resources Committee, House of Representatives mit Vorschlägen für einen Regulierungsrahmen für Offshore Aquakultur ein (GAO 2008). Die National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (Wetter- und Ozeanografiebehörde der Vereinigten Staaten) veröffentlichte 2007 einen 10-Jahres-Plan für Marine Aquakultur (NOAA 2007) mit konkreten Zielen und Strategien sowie Finanzierungsbedarfen, sowie 2011 ein Strategiepapier „Marine Aquaculture Policy“ (NOAA 2011), welches Prioritäten, Ziele und Vorgehensweisen formuliert. Auch wurden 2007 und 2009 Gesetzesvorschläge zur nachhaltigen marinen Aquakultur erarbeitet, welche als Rahmengesetzgebung u.a. die institutionellen Zuständigkeiten und Abläufe im Zulassungsverfahren regeln, sowie Umweltstandards und Maßnahmen zur Minderung und Beseitigung von Umwelteinflüssen festlegen. Diese diversen Initiativen belegen, dass die marine Aquakultur in den USA bereits einen hohen politischen Stellenwert erlangt hat.

Auch in Australien ist die (zumeist küstennahe) Aquakultur ein Wachstumssektor. Die Regulierung fällt in den Zuständigkeitsbereich der Bundesländer; waren die Zuständigkeiten und Genehmigungsverfahren bis vor kurzem noch sehr fragmentiert, so haben einige der Bundesländer in den vergangenen Jahren Anstrengungen unternommen, die Koordinierungsprozesse zwischen den beteiligten Behörden effizienter zu gestalten und Aquakultur-Managementpläne für Küstenabschnitte einzurichten (Cicin-Sain et al 2001).

Dies sind nur einige Beispiele für nationalstaatliche Bemühungen, politische und rechtliche Rahmenwerke für marine Aquakultur zu schaffen. Weitere länderspezifische Verfahren und Ansätze sind nachzulesen bei Cicin-Sain et al 2001. Festzuhalten bleibt grundsätzlich, dass sich die gesetzlich geregelten Prozedere, sowie Richtlinien und Managementpläne zumeist auf küstennahe Aquakultur beziehen; die Offshore-Aquakultur bleibt in den meisten Ländern nicht gesetzlich geregelt.

Deutschland im Vergleich

In Deutschland gibt es bisher keine Rahmengesetzgebung speziell für marine Aquakultur. Auch gibt es keine auf politischer Ebene formulierte Strategie (Fachpolitik), die Ziele, Prioritäten, Herangehensweisen etc. für den Sektor benennen würde.

Auf der anderen Seite bietet die im Jahr 2004 auf die AWZ ausgedehnte marine Raumordnung ein strategisches Planungsinstrument für maritime Nutzungen, welche das Abwägen von Interessen verschiedener Sektoren und Akteure ermöglicht. Die Raumordnungspläne ermöglichen eine räumliche Abgrenzung von Nutzungen und das Festlegen von Eignungsgebieten. Auch ist der institutionelle Rahmen für die Genehmigung von Seeanlagen in der AWZ klar strukturiert.

Auswahl von Eignungsgebieten (site selection)

In der Planungsphase sollten ausreichend Zeit und Ressourcen zur Verfügung stehen, um die Eignung eines Gebietes für die Zucht mariner Organismen zu bewerten (Site Selection). Hierbei sollten sowohl ökologische Bedenken als auch Nutzungskonkurrenzen (z.B. Schifffahrt, Fischerei) erörtert werden. Ein von dem U.S. Government Accountability Office (GAO) erstellter Bericht (GAO 2008) diskutiert in diesem Zusammenhang verschiedene Herangehensweisen: 1) individuelle, fallweise Bewertung der Eignung eines Gebietes (case-by-case), 2) Festlegung von Eignungsgebieten für die marine Aquakultur vor und unabhängig von der Beantragung individueller Projekte, 3) „ocean zoning“, d.h. Zoneneinteilung des Meeresraumes als Bestandteil der Raumplanung, und 4) die Entwicklung von „Aquakultur-Parks“. Die Tabelle 54 gibt einen Überblick über Vor- und Nachteile der Optionen.

Kriterien zur Standortwahl inklusive frühzeitige Bestimmung von Eignungsgebieten für die Aquakultur finden bereits Anwendung beispielsweise in Chile und Norwegen (Cicin-Sain et al. 2001). In Norwegen gibt es zudem Kriterien zur Bestimmung der „Kapazität“ bestimmter Gebiete z.B. in Bezug auf Anzahl und Dichte der Fische pro Standort oder pro Käfig (Cicin-Sain et al. 2001).

Genehmigungsprozedere

Cicin-Sain et al (2004) und GAO (2008) empfehlen, das Verfahren so einfach wie möglich zu gestalten und über eine einzige Genehmigungsbehörde abzuwickeln (in vielen Ländern müssen sich potentielle Investoren bei diversen Behörden um verschiedene fachliche Genehmigungen bemühen). Alle Formalitäten sollten in einem einzigen Antrag und Verfahren gebündelt werden, das alle nötigen Lizenzen und Nachweise beinhaltet. Hierzu muss das Verfahren gut strukturiert und koordiniert sein. Die zentrale Genehmigungsbehörde muss gut vernetzt sein, und die zuständigen Mitarbeiter sollten ein entsprechendes technisches Verständnis besitzen, um auch technologische Innovationen kompetent beurteilen zu können. Zudem sollte das Genehmigungsverfahren flexibel und anpassungsfähig sein, um auf Veränderungen in der Industrie (z.B. best management practices) und sonstige veränderte Rahmenbedingungen (z.B. Veränderungen der Meeresumwelt) eingehen zu können.

Tabelle 54: Vor- und Nachteile der Site selection Prozesse für Offshore Aquakultur (Auszüge aus GAO 2008)

	1) Fallweise Bewertung	2) Festlegung von Eignungsgebieten	3) Ocean zoning	4) Aquaculture parks
Prozess	Auswahl eines Gebietes und Erstellung der UVS erfolgt durch den Antragsteller; Individuelle Prüfung eines Gebiets nach Einreichung eines projektbezogenen Antrags	UVS für potentielle Gebiete erstellen, im Rahmen eines Masterplans Eignungsgebiete festlegen und für diese Gebiete geeignete Technologien und Projekte bestimmen, generelle Zulassung in Abstimmung mit allen relevanten Behörden erarbeiten und zuletzt individuelle Zulassungen erteilen	Ähnlich wie 2), aber umfassender: beinhaltet sowohl die Festlegung von Eignungsgebieten als auch von ungeeigneten, für die AQ-Nutzung ausgeschlossenen Gebieten, sowie jegliche andere Nutzungen des Meeresraums	Einrichtung von AQ-Parks in Gebieten, die optimale Bedingungen aufweisen: gute Anbindung an Land und Infrastruktur, minimale Nutzungskonflikte, geeignete Umweltbedingungen. Betrieb durch privaten Investor oder in öffentlicher Hand, oder als public private partnership
Vorteile	Wird den lokalen Gegebenheiten gerecht; Von Vorteil zu Beginn der Offshore-AQ-Entwicklung da lediglich lokales/regionales Wissen erforderlich ist; Ermöglicht die Berücksichtigung von lokalspezifischem Wissen des Antragstellers	Ermöglicht die Berücksichtigung kumulativer Effekte; Standardisierter Prozess ermöglicht Konsistenz und Vorhersehbarkeit für den Antragsteller	Siehe 2)	Zulassungsprozess vorhersehbar für Investoren; höhere Wirtschaftlichkeit durch gemeinsame Nutzung von Infrastruktur etc. (economies of scale)
Nachteile	Hoher Aufwand (Kosten & Zeit), verzögert das Genehmigungsverfahren; Behindert die Entwicklung eines standardisierten site selection Prozesses; Erschwert die Bewertung kumulativer Effekte	Erfordert zunächst hohen Aufwand an Daten, Kosten, Zeit und ist daher kurzfristig nicht umsetzbar (der Nutzen erfolgt erst bei langfristiger Planung); Site selection erfolgt ausschließlich durch die Genehmigungsbehörde ohne Berücksichtigung der Interessen individueller Investoren	Siehe 2)	Erhöhte Umweltbelastungen durch intensive Nutzung auf zu engem Raum

Deutschland im Vergleich

Für die marine Aquakultur gibt es in Deutschland derzeit kein Planungsverfahren bezüglich der Bewertung von Gebieten hinsichtlich ihrer Eignung für die Zucht mariner Organismen. Aus Sicht eines potentiellen Investors empfehlenswert wäre sicherlich die frühzeitige Bestimmung von generellen Eignungsgebieten für die Marikultur, welche die individuelle Prüfung eines beantragten Projekts vermutlich wesentlich verkürzen und vereinfachen würde. Das vom BSH aufgebaute CONTIS Informationssystem bietet eine optimale Grundlage für die Analyse und Kartierung / Zuordnung von solchen Eignungsgebieten. Auch die Raumordnungspläne für die AWZ bieten ein Instrument, um frühzeitig Eignungsgebiete zu identifizieren und festzulegen. Mit der Verordnung über die Raumordnung in der deutschen AWZ und die Seeanlagenverordnung wurde für die Offshore-Windkraft die rechtliche Grundlage zur Bestimmung von Eignungsgebieten bereits geschaffen. Die Leitungswirkung der festgelegten Kriterien für die Genehmigung von Windparks ist allerdings nicht belegt; so wurden etliche Anträge auch für Gebiete außerhalb der Eignungsgebiete bewilligt oder befinden sich derzeit in der Antragsphase (*pers comm Blasche*).

Da in Befragungen und im Rahmen des Stakeholderworkshops vielfach auf die Berücksichtigung negativer lokaler sowie kumulativer Effekte auf die Meeresumwelt (speziell den Nährstoffhaushalt) hingewiesen wurde, sollten entsprechende Voruntersuchungen (carrying capacity Bewertungen, Nährstoffbilanzierung) für Eignungsgebiete stattfinden.

Der GAO Report (2008) wirft die Frage auf, inwiefern Bundesländer bzw. regionale Fischereibehörden im Genehmigungsprozedere berücksichtigt werden, da diese von grenzüberschreitenden negativen Auswirkungen der Offshore-Aquakultur betroffen sein könnten (z.B. durch Verschmutzung der Meeresumwelt, Übertragung von Krankheiten auf lokale Fischbestände, Vermischung von aus den

Käfig entflohenen Fischen mit heimischen Arten). Es werden verschiedene Optionen diskutiert, die von reiner Konsultation bis zu Vetorechten der jeweiligen Länderbehörden reichen. Die Mehrheit der befragten Stakeholder sprach sich dafür aus, den Behörden auf Länderebene zu ermöglichen, individuelle Projekte in der angrenzenden AWZ abzulehnen; ein Vetorecht wurde allerdings überwiegend abgelehnt. Manche der Befragten schlugen vor, die Einflussnahme von Ländern nicht auf die gesamte AWZ anzuwenden, sondern auf die küstennahe Region zu beschränken, beispielsweise 5-12 Meilen vor der Küste.

Deutschland im Vergleich

Gemäß SeeAnIV ist die Bundesanstalt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) die zentrale Genehmigungsbehörde für Offshore-Windparks. Das sehr klar strukturierte und zentral koordinierte Genehmigungsverfahren stellt eine gute Grundlage auch für potentielle Genehmigungsverfahren von Marikulturinstallationen dar. Zur Gewährleistung der fachlichen Kompetenz holt sich das BSH Stellungnahmen der Fachbehörden ein.

Behörden der an die AWZ angrenzenden Bundesländer werden im Rahmen des Genehmigungsverfahrens miteinbezogen. Die regionalen Fischereibehörden haben grundsätzlich die Möglichkeit, zu den beantragten Nutzungen Stellung zu nehmen, allerdings haben die Empfehlungen keinen verbindlichen Charakter für die Genehmigungsbehörde. Außerdem ist von den zuständigen Behörden auf Länderebene eine Genehmigung der im Küstenmeer zu verlegenden stromabführenden Kabelsysteme einzuholen.

Umweltmanagement

Umweltstandards: In den USA wurden 2007 und 2009 Gesetzesvorschläge für Offshore Aquakultur vorgelegt, die Umweltstandards für die Kultivierung von marinen Organismen in Offshore-Gewässern festlegen (H.R. 2010, the National Offshore Aquaculture Act of 2007, und H.R.4363 – the National Sustainable Offshore Aquaculture Act of 2009) Diese betreffen insbesondere Auswirkungen (auch kumulative Effekte) auf natürliche Fischbestände und die Fischerei, marine Ökosysteme, Gewässerqualität, Habitat, und marine Flora und Fauna. Die Gesetzesvorschläge beinhalten auch Vorgaben zum site selection Prozess und zum Monitoring von Umwelteinflüssen, Systeme zur Aufzeichnung von Bestandsaufnahme und Bewegung von kultivierten Fischen (record system to track inventory and movement of cultured fish), sowie die Beschränkung auf die Kultivierung heimischer Arten (es sei denn eine wissenschaftliche Risikoanalyse beweist die Unbedenklichkeit einer speziellen nicht-heimischen Art). Auch wurden Maßnahmen zur Minderung und Beseitigung von negativen Umwelteinflüssen vorgeschrieben. (weitere Informationen zu den Gesetzestexten erhältlich auf den Internetseiten des National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Aquaculture Program www.aquaculture.noaa.gov und der Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI) www.whoi.edu)

Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP): Im Rahmen einer durch den Antragsteller erstellten Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) werden etwaige Auswirkungen eines Projekts auf Mensch und Umwelt untersucht. Um dieses Verfahren zu vereinfachen (sowohl für Antragsteller als auch für die prüfende Behörde) wären Kriterien oder Standards speziell für die Offshore-Aquakultur sinnvoll. Der Umfang einer solchen Studie sollte dem Risiko potentieller Schäden durch das Projekt entsprechen: größere Projekte bedürften demnach umfangreicherer Studien als kleine Projekte (GAO 2008). Neben den individuellen, projektbezogenen UVS wäre auch eine durch staatliche Behörden angefertigte Strategische Umweltprüfung (SUP) (oder programmatische UVS) denkbar, die für eine größere Meeresfläche potentielle Umweltauswirkungen bewertet. Eine solche Studie könnte den Behörden bei der Festlegung von Regularien für die Industrie, oder bei der Bewertung von Projekten mit ähnlichen (geografischen, programmatischen) Rahmenbedingungen helfen. Somit könnten auch kumulative Effekte besser berücksichtigt werden. Eine solche SUP würde individuelle UVS zwar in der Regel nicht ersetzen, aber vereinfachen. Programmatische UVS sind beispielsweise in dem Gesetzesvorschlag „National Sustainable Offshore Aquaculture Act of 2009“ enthalten.

Deutschland im Vergleich

Umweltauflagen für Offshore-Windkraft sind in Deutschland durch das Standarduntersuchungskonzept (StUK) des BSH festgelegt und werden im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung abgearbeitet. Für die Offshore-Aquakultur gibt es dagegen noch keine offiziell gültigen Umweltstandards. Die Umsetzung der Meeresstrategierahmenrichtlinie (MSRRL) in nationale Gesetzgebung durch die Novellierung des Wasserhaushaltsgesetzes wird allerdings strenge Vorgaben zum Erhalt bzw. zur Erreichung von guter Gewässerqualität auch der Offshore-Gewässer beinhalten, die sich direkt auf Aktivitäten wie Marikultur und Offshore-Windkraft auswirken werden. Der Beschluss der Kommission vom 1. Sep 2010 über Kriterien und methodische Standards zur Feststellung des guten Umweltzustands von Meeresgewässern wird zukünftig bei der Bewertung von beantragten Projekten direkt Anwendungen finden. Das StUK wäre um Auswirkungen auf die Gewässerqualität unter Berücksichtigung der EU-Vorgaben zu erweitern und könnte somit auch für Co-nutzungen einen adäquaten Bewertungsrahmen bilden. Im Rahmen des Stakeholderworkshops (Kapitel 7.5.3) wurde vorgeschlagen, im Rahmen einer wissenschaftlichen Studie ein StUK exemplarisch für die marine Aquakultur zu erarbeiten. Zudem wurde darauf hingewiesen, bei der Erarbeitung von Kriterien speziell (kumulative) Effekte auf den Nährstoffhaushalt zu berücksichtigen. Eine Nährstoffbilanzierung von geeigneten Meeresflächen könnte ein wichtiges Entscheidungskriterium im Genehmigungsverfahren sein. Zudem wurde darauf hingewiesen, bestehende bzw. im Aufbau befindliche Kriterien für nachhaltige Aquakultur (Aquaculture Stewardship Council, Greenpeace Kriterien zu nachhaltiger Aquakultur) zu berücksichtigen.

Minderung und Beseitigung von negativen Umwelteinflüssen: Die Zucht von marinen Organismen hat auch bei bester Standortwahl zwangsläufig Auswirkungen auf die umliegende Meeresumwelt. Eine Betriebsgenehmigung wird daher mit Auflagen für die Minderung und notfalls Beseitigung von negativen Umwelteinflüssen verbunden sein. Hier gibt die Literatur eine Vielzahl von Managementvorschlägen, z.B. Pläne zur Vermeidung und zum Management von Fischflucht, Markierung von gezüchteten Fischen, Verbot genetisch modifizierter und nichtheimischer Fische, Notfallschutzplan für den Fall dass eine Anlage wegen z.B. Sturmgefahr oder der Gefahr von Algenblüten kurzfristig geschlossen oder verlagert werden muss (GAO 2008). Zudem werden finanzielle Absicherungen z.B. in Form von Bürgschaften, Versicherungspolizen, Treuhandfonds (trust fund), oder Garantien/Akkreditive („letter of credit“) vorgeschlagen, um die Kosten für die Entsorgung stillgelegter Betriebe abzusichern (GAO 2008). Solche finanziellen Absicherungen könnten auch für eventuell anfallende Beseitigungsmaßnahmen gefordert werden, was allerdings die Versicherer solcher Schäden vor Probleme stellt, wie sich der Schaden quantifizieren und sich nachweisen lässt, ob ein Schaden durch eine konkrete Anlage oder vielmehr durch kumulative Effekte entstanden ist. Zudem ist fraglich, ob die Kosten für solche Garantien von dem Investor tragbar wären (GAO 2008).

Firestone et al. (2005) schlagen Auflagen für die Stilllegung von Anlagen, Bürgschaften zur Absicherung von Risiken durch den Betrieb (performance bonding), und finanzielle Garantien für die Außerbetriebnahme vor. Außerdem sollten Einkünfte aus Lizenzgebühren mit besonders betroffenen Bundesländern geteilt werden, z.B. wenn Verunreinigung der angrenzenden Gewässer oder Fischflucht droht.

Der Gesetzesvorschlag National Offshore Aquaculture Act 2007 schreibt Bonds oder andere finanziellen Garantien und Vorgaben zur vorschriftsmäßigen Außerbetriebnahme von Anlagen vor.

Monitoring: Ein Monitoring Prozess sollte Betriebskonditionen beinhalten hinsichtlich Versicherungs- und Haftungsanforderungen, Umweltmonitoring, und Stilllegung/Außerbetriebsetzung einer Offshoreinstallation (Cicin-Sain et al. 2001). Das Umweltmonitoring sollte flexibel und anpassungsfähig sein, damit es dem neuesten Wissensstand zu Umwelteinflüssen und geeigneten Herangehensweisen zur Überwachung von Umweltveränderungen Rechnung tragen kann. Regelmäßige (sowohl angekündigte als auch unangekündigte) Inspektionen von Aquakulturbetrieben sollten Bestandteil des Monitoring sein. Angekündigte Inspektionen sind z.B. geeignet, um Gewässerproben der Käfige zu entnehmen oder chemische Behandlungen der Fische zu überwachen, während unangekündigte Inspektionen angebracht sind, wenn der Verdacht auf Missachtung von Zulassungsvorgaben besteht (GAO 2008).

Best Management Practices: Durch das Anwenden von Best Management Practices (BMP) können Umwelteinwirkungen erheblich verringert werden. Einen Überblick über BMPs in der Aquakultur

bieten z.B. Tucker and Hargreaves (2008). BMPs werden in der Regel von der Industrie selbst entwickelt, um z.B. Kosteneinsparungen durch Ressourceneffizienz zu erzielen. Mitunter dauert es Jahre, bis die Innovationen sich als anerkannter Standard etablieren. BMPs sind dem ständigen technischen Fortschritt unterworfen und sind daher nur bedingt für gesetzliche Auflagen nutzbar. Vielmehr sollten Anreize für kontinuierliche Innovation und das Verwenden und Weiterentwickeln von BMPs geschaffen werden. Andere gebräuchliche Begriffe sind Best Environmental Practice (BEP) und Best Available Technique (BAT). BEP für Aquakultur speziell hinsichtlich des Gebrauchs von Chemikalien und Pestiziden wurden beispielsweise von der Oslo-Paris Kommission (OSPAR) erarbeitet (PARCOM Recommendation 94/6 on Best Environmental Practice (BEP) for the Reduction of Inputs of Potentially Toxic Chemicals from Aquaculture Use, und PARCOM Recommendation 94/7 on the Elaboration of National Action Plans and Best Environmental Practice (BEP) for the Reduction of Pesticides from Agricultural Use).

Leasing /Pachtvertrag

Es muss gesetzlich geregelt werden, welche Form des Nutzungsrechts der Anlagenbetreiber auf die von ihm beanspruchte Meeresfläche erhält. Im Rahmen eines Pachtvertrags müssen Laufzeit, Umfang, und sonstige Konditionen festgelegt werden. Auch muss geregelt werden, inwieweit der Anlagenbetreiber ein ausschließliches Nutzungsrecht erhält, und ob er hierzu im Gegenzug Kompensationen an die Allgemeinheit leisten muss. Cicin-Sain et al. (2001) empfehlen, den Pachtzins in einen speziell zu diesem Zweck eingerichteten Fonds einzuzahlen, aus dem Maßnahmen zur Reduzierung der Umweltauswirkungen finanziert werden. Der GAO Report (GAO 2008) diskutiert in diesem Zusammenhang zwei verschiedene Genehmigungsdokumente: zum einen die Zulassung (permit), und zum anderen den Pachtvertrag (lease). Hierbei wird auf die Problematik hingewiesen, dass auf der einen Seite der Investor Planungssicherheit in Form eines möglichst langfristigen Pachtvertrags braucht, und zum anderen die Möglichkeit bestehen muss, eine Zulassung kurzfristig zu entziehen, wenn z.B. unvorhergesehene Umweltauswirkungen auftreten oder gesetzliche Auflagen nicht eingehalten werden. Eine Lösung wäre eine Kombination aus einer kurz-/mittelfristigen Zulassung und einem langfristigen Pachtvertrag. Cicin-Sain et al (2001) schlagen ein 2-Stufen-Verfahren vor, welches bereits in einigen Ländern Anwendung findet. Hierbei wird zunächst ein Pachtvertrag für ein spezielles Gebiet geschlossen, und dann in einem nächsten Schritt eine Lizenz für den Betrieb der Aquakulturanlage erworben.

In den USA gibt die Gesetzgebung die Ausgabe von Zulassungen mit Laufzeiten von 20 Jahren, verlängerbar um weitere 20 Jahre, vor. Diese Zulassungen sind übertragbar. Des Weiteren haben betroffene Bundesländer die Möglichkeit, innerhalb der 12-Meilen-Zone gegen Nutzung durch Aquakultur Einspruch zu erheben. In diesem Fall werden keine weiteren Zulassungen vergeben (der Einspruch ist nicht rückwirkend zulässig).

Deutschland im Vergleich

Erhält der Antragsteller eines Offshore-Windparks einen positiven Genehmigungsbescheid durch das BSH, so erhält er eine Betriebszulassung über 25 Jahre; danach kann erneut über eine Zulassung entschieden werden. Betreiber von Offshore-Windparks sind Genehmigungsinhaber für die gesamte beanspruchte Meeresfläche. Über einen zivilrechtlichen Vertrag könnte der Betreiber eventuell zusätzliche Nutzungen, beispielsweise die Fischzucht, innerhalb dieser Meeresfläche erlauben, allerdings ist die rechtliche Lage bezüglich der Eigentumsregelungen noch ungewiss.

Der Betreiber zahlt keinen Pachtzins für die Nutzung der Meeresfläche (*pers comm Nolte*).

Beteiligung der Öffentlichkeit

Die Öffentlichkeit sollte während des gesamten Antragsverfahrens, sowie bereits bei der Auswahl geeigneter Gebiete (site selection) ausreichend Zeit zur Stellungnahme haben (z.B. in Form von öffentlichen Anhörungen).

Auch an die AWZ angrenzende Bundesländer, bzw. deren regionale Fischereibehörden, sollten konsultiert werden (GAO 2008), um die Aktivitäten mit regionalen Raumordnungsplänen, Küstenzonenmanagementplänen etc. abzustimmen. In den USA haben Bundesländer die Möglichkeit, gegen die Nutzung durch Aquakultur innerhalb des Küstenmeeres (12-Meilen vor der Küste) Beschwerde einzulegen.

Deutschland im Vergleich

Das Genehmigungsverfahren gemäß SeeAnIV sieht eine Öffentlichkeitsbeteiligung in 3 Phasen des Verfahrens vor (siehe Grafik 107). Hierbei werden zunächst von einem engen Kreis von Behörden und sonstigen Institutionen Stellungnahmen eingeholt; in der 2. und 3. Phase wird der Kreis erweitert. Auch angrenzende Bundesländer und, im Falle von grenzüberschreitenden Angelegenheiten, angrenzende Nachbarstaaten werden in das Verfahren einbezogen.

7.5.2 Stakeholderanalyse

Hintergrund

Was ist ein Stakeholder? Als Stakeholder verstehen wir Personen oder Personengruppen, die von einer Aktion (z.B. einem Projekt) **aktiv betroffen** sind. Im Rahmen des Projekts Open Ocean Multi-Use sind es Privatpersonen, Institutionen oder Firmen, die an der gemeinsamen Nutzung einer Meeresfläche durch Windkraft und Aquakultur beteiligt, oder von dieser betroffen wären.

Was ist eine Stakeholderanalyse? Eine Stakeholderanalyse ist eine systematische Ermittlung der relevanten Stakeholder (oder „Akteure“) und deren Einfluss auf das Projekt sowie deren Einstellung (positiv oder negativ) zum Projekt. Sie ermöglicht die frühzeitige Erkennung von potentiellen Interessenkonflikten und die Erarbeitung von Konfliktlösungs- und Managementstrategien.

Warum haben wir eine solche Analyse durchgeführt? Die Arbeitsgruppe 4 („IKZM, Akzeptanz und Co-Management“) des Projekts Open Ocean Multi-Use befasste sich u.a. mit der Frage, ob und wie ein Co-management Ansatz für die multiple maritime Raumnutzung möglich ist. Hierzu wurden betroffene Stakeholdergruppen ermittelt und deren Bereitschaft zur Zusammenarbeit analysiert. Mögliche Hemmnisse bei der Zusammenarbeit sollten identifiziert und potentielle Lösungsmodelle gemeinschaftliche mit den lokalen Akteuren erarbeitet werden.

Ein wesentlicher Bestandteil der Stakeholderanalyse wurde durch die Masterarbeit “The Role of Perceptions and Networks in Multiple Marine Resource Use: Integrating Aquaculture and Offshore Wind Farms in the North Sea” abgearbeitet. Anhang II gibt eine kurze Zusammenfassung der Arbeit wieder¹.

Methode

Die Stakeholderanalyse erfolgte in einem ersten Schritt innerhalb des Projektes in Zusammenarbeit mit allen Projektpartnern und mittels Internetrecherche. Die Stakeholderanalyse beschränkte sich bezüglich der räumlichen Ebene auf Akteure innerhalb Deutschlands. Insgesamt wurden sieben Stakeholdergruppen kategorisiert: Fischerei und Fischverarbeitungsindustrie, Offshore Windenergie, Umweltorganisationen, Wirtschaftsförderung, wissenschaftliche Einrichtungen, maritime Technik und Verwaltung.

Anschließend wurden einige ausgewählte Stakeholder im Rahmen von semi-strukturierten Interviews angesprochen und ihre jeweiligen Perspektiven und Interessen ermittelt. Der Interviewleitfaden ist in Anhang V beigefügt. Insgesamt wurden 24 Interviews durchgeführt. Die Interviews wurden transkribiert und qualitativ ausgewertet.

¹ Die vollständige Masterarbeit kann per Email (bente_vollstedt@hotmail.com) angefordert werden.

Um die Ergebnisse der vorangegangenen Befragungen durch einen erweiterten Kreis von Stakeholdern zu validieren bzw. zu hinterfragen, und um der Öffentlichkeit einen Zugang zu den Projektergebnissen zu ermöglichen, wurde zu Projektende ein Stakeholderworkshop zu dem Thema „Fischzucht in Offshore-Windparks“ durchgeführt. Ein ausführlicher Workshopbericht ist in Anhang VII enthalten.

Mit Hilfe der Interviewergebnisse sowie der Resultate des Stakeholderworkshops wurde eine umfassende Potentiale- und Hemmnisse-Analyse erstellt.

Ergebnisse

Identifizierung der Schlüsselakteure: Zunächst wurden wesentliche Sektoren und deren Schlüsselakteure identifiziert. Tabelle 55 gibt einen Überblick über die wichtigsten Sektoren und Stakeholdergruppen.

Tab. 55: Überblick über die wichtigsten Sektoren und Stakeholdergruppen

Sektor	Stakeholder
Fischerei	<ul style="list-style-type: none"> • Fischereiverbände • Fischereiunternehmen • Aquakulturbetriebe • Fischverarbeitungsindustrie, Fischgroßhandel
Behörden	<ul style="list-style-type: none"> • Bundes- und Länderbehörden in den Bereichen Natur- & Umweltschutz, Landwirtschaft, Fischerei, Erneuerbare Energien, Raumplanung • Wasser- und Schifffahrtsdirektionen • Genehmigungsbehörde für Offshore-Anlagen (Bundesanstalt für Seeschifffahrt und Hydrografie)
Offshore Windenergie	<ul style="list-style-type: none"> • Windenergieanlagenhersteller und –betreiber • Verbände der Windenergiebranche
Umweltschutzverbände	<ul style="list-style-type: none"> • Lokale, nationale und internationale Interessensverbände aus den Bereichen (Meeres-)umweltschutz, Naturschutz
Maritime Technik	<ul style="list-style-type: none"> • Firmen und Einrichtungen der Erforschung und Herstellung maritimer Technik
Forschung	<ul style="list-style-type: none"> • Forschungseinrichtungen aus den Bereichen maritime Technik, Meereswissenschaften, Aquakultur & Fischerei
Wirtschaftsförderung	<ul style="list-style-type: none"> • Einrichtungen der regionalen Wirtschaftsförderung

Aus den verschiedenen Stakeholdergruppen wurden in einem nächsten Schritt eine umfassende Liste der einzelnen Stakeholder / Vertreter der jeweiligen Interessengruppen erstellt (Anhang III). Die Liste hat den regionalen Bezug zur Nordsee und beschränkt sich daher auf Stakeholder, die von einer potentiellen Co-nutzung im Nordseeraum betroffen wären.

Institutionenanalyse: Als Teil der Stakeholderanalyse wurde eine Institutionenanalyse erstellt, welche die Zuständigkeiten von relevanten Behörden in Bezug auf eine Co-nutzung untersucht. Anhang IV enthält eine umfangreiche Liste von Institutionen und deren Aufgabenbereichen und hierarchischen Beziehungen zueinander.

Ergebnisse der Befragungen

Die Interviewergebnisse wurden im Rahmen der Masterarbeit von Bente Vollstedt (Zusammenfassung in Anhang II) ausgewertet. Wesentliche Unsicherheitsfaktoren aus Sicht der Befragten sind in Tabelle 56 dargestellt.

Tab. 56: Überblick über die wesentlichen Unsicherheitsfaktoren

Aspekt	Unsicherheitsfaktoren
Technik	Technische Ausführbarkeit einer Co-Nutzung aufgrund der erhöhten Distanz zur Küste und Beschaffenheit der Nordsee Technische Kapazität, da die Windenergieanlagen erhöhten Lasten durch die Aquakulturanlagen ausgesetzt sind
Ökonomie	Wirtschaftlichkeit von Aquakulturanlagen wird in Frage gestellt, aufgrund von Negativerfahrungen und der erhöhten Distanz zur Küste Gewissenhafte Auswahl der Fischart, da diese rentabel und in der Aquakultur züchtbar sein muss
Recht und Versicherung	Verantwortlichkeiten und Besitzverhältnisse der involvierten Akteure müssen festgelegt werden Zugangsrecht für fischereiliche Fahrzeuge muss gegeben sein Versicherungsrechtliche Aspekte müssen im Falle von Beschädigungen geklärt werden
Soziales und Kulturelles	Flexibilität der Fischer wird in Frage gestellt, da die Aquakultur ein anderer Berufszweig als die traditionelle Fischerei darstellt. Akzeptanz der Windparkbetreiber muss gegeben sein
Zusammenarbeit	Aquakulturanlagen dürfen die Zufahrt zu den Windenergieanlagen nicht beeinträchtigen und die Windenergieanlagen dürfen durch die Aquakulturanlagen nicht beschädigt werden, somit ist es wichtig auch hier die technische Ausführbarkeit und die Verantwortlichkeiten zu regeln
Umwelt	Insbesondere Bedenken in Bezug auf offene Aquakultursysteme. Negative Umweltauswirkungen werden erwartet insbesondere durch Eutrophierung, genetischen Austausch mit wildlebenden Organismen und durch die Übertragung von Krankheiten

Zusätzlich zu der Auswertung im Rahmen der Masterarbeit wurden die Befragungen projektintern ausgewertet. Bei dieser Analyse haben sich einige grundlegende Bedenken, Chancen und Herausforderungen herauskristallisiert. Die folgenden Abschnitte benennen einige der Aspekte, die mehrfach durch die Befragten genannt wurden und daher als wesentlich einzustufen sind. Eine umfassende Analyse der Potentiale und Hemmnisse, sowie identifizierte Forschungsbedarfe ist in Anhang VI wiedergegeben.

Potentiale einer Co-nutzung durch Aquakultur und Offshore-Windkraft: Unter Potentialen werden in diesem Zusammenhang positive Aspekte einer Co-nutzung verstanden (Chancen, Synergieeffekte, Stärken).

- Akzeptanz grundsätzlich hoch

Bis auf wenige Ausnahmen fanden die meisten der Befragten die Idee einer Kombination von Offshore-Windkraft und Aquakultur interessant und unterstützenswert. Als Argument wurden zum einen wirtschaftliche Möglichkeiten, aber auch multiple Nutzung des Meeresraumes genannt, welche

eine zusätzliche Nutzung ohne zusätzliche Flächeninanspruchnahme ermögliche. Dennoch herrschte große Skepsis, ob die Projektidee sich technisch und wirtschaftliche realisieren lasse.

- Positive Marketingeffekte

Einige der Befragten erhofften sich aus einer Co-nutzung positive Marketingeffekte und Erhöhung der Akzeptanz in der Öffentlichkeit. Aus Sicht der Windkraftbetreiber ist eine zusätzliche Nutzung zwar technisch nicht unbedingt gewollt, es besteht aber die Möglichkeit, dass sich hierdurch die Wahrscheinlichkeit einer Genehmigung erhöhen ließe (vorausgesetzt die Aquakulturanlage ist zertifiziert), da multiple Nutzungen politisch gewollt sind. Auch ließe sich die öffentliche Wahrnehmung positiv beeinflussen, wenn die Offshore-Windkraft eine zusätzliche Nutzung in Form von nachhaltiger Aquakultur ermögliche.

Auch aus Sicht des Fischhandels könnte es aus Marketingsicht ein Pluspunkt sein, Fische aus heimischer, nachhaltiger AQ in Windparks zu beziehen. Es wird von einer wachsenden Nachfrage nach Fisch ausgegangen; in dieser Entwicklung ist die Aquakultur weltweit bereits ein Wachstumsmarkt. Bisher nimmt Deutschland in nur sehr geringem Maßstab an diesem Markt teil.

- Hochwertige Produkte

Es wurde in den Interviews vielfach darauf hingewiesen, dass sich die Aquakultur in Windparks auf hochpreisige Produkte (Delikatessen) spezialisieren solle. Grundsätzlich ist der Frischfischmarkt der lukrativere Markt, allerdings ist hierfür die Nachfrage in Deutschland nicht sehr hoch. Man könnte sich daher auf einen Nischenmarkt (z.B. Gastronomie) konzentrieren, oder aber den Fisch ins Ausland (z.B. Spanien, Frankreich) exportieren, wo sich höhere Preise erzielen lassen. Ein „Alleinstellungsmerkmal“ müsste erarbeitet werden (z.B. nachhaltige Produktion, höchste Qualität) welches ein relativ hohes Preisniveau rechtfertigt.

- Sonstige Co-nutzungsmöglichkeiten

Neben der Kombination von Aquakultur und Offshore-Windparks wurde im Rahmen der Interviews eine Reihe von sonstigen Co-nutzungsmöglichkeiten angesprochen. Insbesondere die passive Fischerei (Stellnetze, Fischfallen, evtl. auch traditionelle Fischerei mit Langleinen) wurde von einigen als vielversprechender oder zumindest ebenso sinnvolle Option gesehen. Auch Muschel- und Algenzucht erschien vielen sowohl aus wirtschaftlicher (weniger Aufwand, leichter zu handhaben), als auch aus ökologischer Sicht (keine zusätzliche Fütterung) vielversprechend an. Grundsätzlich wurde darauf hingewiesen, dass man unbedingt auch Nutzungsmöglichkeiten (z.B. durch Aquakultur oder passive Fischerei) erforschen sollte, die den Raum zwischen den Windkraftanlagen nutzen, ohne dabei mit dem Fundament in Berührung zu kommen.

Hemmnisse einer Co-nutzung durch Aquakultur und Offshore-Windkraft: Unter Hemmnissen werden in diesem Zusammenhang negative Aspekte einer Co-nutzung verstanden (Konfliktpotentiale, Schwächen, negative Assoziationen).

- Nutzungskonflikte

Zum einen stehen potentielle fischereiliche Interessen den Sicherheitsinteressen der Windparkbetreiber gegenüber. Den potentiellen Konflikten müsste durch eine frühzeitig geregeltes Co-management begegnet werden, welches grundlegende Verhaltensregeln, Zuständigkeiten, und Abläufe regelt. Zudem wäre es möglich, heimische Fischer in Bau und Betrieb der WEA einzuspannen, z.B. die Schiffe als Wachschorer für Baumaßnahmen und für Kabelverlegungsmaßnahmen zu engagieren, Multifunktionsschiffe für Wartungsarbeiten etc. zu nutzen.

Einige der Befragten äußerten grundsätzliche Bedenken, den Windpark für eine weitere Nutzung zu öffnen. Von Vertretern des Umweltschutzes wurde darauf hingewiesen, dass der Windpark durch das gültige Fischereiverbot positive Erholungseffekte für die Meeresumwelt habe: sowohl der

Meeresboden als auch die Fischbestände könnten sich durch ein solches Nutzungsverbot regenerieren. Sie stehen daher einer Öffnung für die Aquakulturnutzung kritisch gegenüber. Diese Einstellung ist allerdings auch innerhalb des Umweltschutzsektors nicht unumstritten: zum einen ist umstritten, ob ein Windpark überhaupt als Erholungsgebiet für Fische und andere Meerestiere fungiert, oder ob hierzu das abgesperrte Gebiet zu klein und die Störung durch angrenzende Nutzungen (z.B. Schifffahrt) zu groß sei, als dass man von einer „Ruhezone“ sprechen könne. Zum anderen ist auch unklar, ob die Aquakultur eine wesentliche Störung für die freilebenden Fische bedeute.

Andere Bedenken wurden aus dem Fischereisektor geäußert, welcher der Idee einer Nutzung durch Aquakultur nicht geschlossen positiv gegenübersteht. Wenn auch grundsätzlich die positive Einstellung überwog, wurde aus bestimmten Kreisen das Angebot an die Fischer, sich an dem Betrieb einer Aquakulturanlage zu beteiligen, als „Feigenblattveranstaltung“ gesehen, um die Genehmigung der Windparks zu rechtfertigen. Es wurde teilweise stark bezweifelt, dass die heimischen Fischer die Nutznießer einer Aquakulturförderung sein würden; vielmehr wurde davon ausgegangen, dass eine solche Anlage von einem Großinvestor betrieben würde, der das entsprechend qualifizierte Personal aus dem Ausland beschaffen würde. Aus diesen Bedenken lässt sich schlussfolgern, dass man keinesfalls davon ausgehen kann, dass automatisch diejenigen Fischer, die von dem Verlust von Fanggebieten durch den Windpark betroffen wären (die „Verlierer“) auch gleichzeitig die möglichen Profiteure („Gewinner“) einer Nutzung durch Aquakultur wären. Es sollte daher vermieden werden, die Aquakultur als mögliche Form der Kompensation von betroffenen Fischern darzustellen.

- Know-How und finanzielle Möglichkeiten fehlen

Ein weiterer Aspekt, der in Zusammenhang mit dem vorangegangenen Punkt steht, ist das mangelnde Know-How für den Aquakulturbetrieb in Deutschland. Da der Sektor in Deutschland noch sehr klein ist, findet man auf dem Markt wenig qualifiziertes Personal, was die Frage aufwirft, woher man diese Expertise beziehen soll. Möglichkeiten bestehen zum einen in dem Betrieb durch erfahrene ausländische Unternehmen, oder aber durch die Umschulung von heimischen Fischern. Hierzu wurde allerdings vielfach angemerkt, dass sich das Berufsbild eines Fischers sehr stark von dem eines Aquakulturzüchters unterscheidet und es großen Anlass zu Zweifeln gäbe, ob die heimischen Fischer an einer solchen Umschulung interessiert wären. Eventuell wäre die Akzeptanz hierzu bei jungen (aufgeschlosseneren) Fischern oder aber bei Muschelfischern höher, deren Berufsbild dem des Züchters näher kommt.

Hinzu kommen die eingeschränkten finanziellen Mittel, die ein Umsatteln auf die Aquakultur erschweren würden. Nicht nur das Know-How, auch die gesamte Ausstattung müsste erneuert werden, wozu den einzelnen Fischern in der Regel die Mittel fehlen. Eine Erweiterung des Berufsfeldes kommt daher nur für größere Fischereiunternehmen und Zusammenschlüsse von Fischern /Kooperativen in Betracht.

- Wirtschaftlichkeit

Eines der am häufigsten genannten Bedenken betraf die Wirtschaftlichkeit von Offshore-Aquakultur. Grundsätzlich besteht große Skepsis, ob sich die Investitionen auszahlen würden. Es wurde auf die Unsicherheit von Preisentwicklungen hingewiesen, welche eine Prognose der Wirtschaftlichkeit stark erschwere.

Die Muschelfischer haben bei Versuchen der Langleinenzucht im Jadebusen negative Erfahrungen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit gemacht und wären daher wohl nur schwerlich davon zu überzeugen, sich an Anlagen noch weiter draußen auf See zu beteiligen.

Hieraus lässt sich ableiten, dass eine gewissenhafte Auswahl der Fischart unbedingt nicht nur biologische Anforderungen, sondern auch Rentabilität berücksichtigen muss. Insbesondere hochwertige Fische können das wirtschaftliche Risiko minimieren.

- **Ökologische & biologische Bedenken**

Grundsätzlich stehen viele Vertreter aus Behörden und Interessensverbänden aus den Bereichen Natur- und Umweltschutz offenen Aquakultursystemen äußerst skeptisch gegenüber. Negative Umweltauswirkungen werden erwartet insbesondere durch Eutrophierung, genetischen Austausch mit wildlebenden Organismen und durch die Übertragung von Krankheiten. Auch wenn die Intensität der Fischzucht der im Rahmen des Projektes vorgestellten Installationen relativ gering wäre, so können doch lokale Effekte auf die Meeresumwelt nicht ausgeschlossen werden. Es wurde daher dringend angemahnt, man müsse bei der Forschung speziell auf ökologische Nachhaltigkeit der Systeme achten, beispielsweise durch Fütterungstechniken, die den Nährstoffeintrag minimieren, Absaugen von Futterresten und Abfallstoffen etc. Zudem sollte ein Zertifikat zur nachhaltigen Produktion angestrebt werden (z.B. Aquaculture Stewardship Council, Greenpeace Kriterien zu nachhaltiger Aquakultur). Im Rahmen des Stakeholderworkshops wurde auf die Notwendigkeit einer Nährstoffbilanzierung für geeignete Meeresflächen hingewiesen.

- **Technische Bedenken**

Grundsätzlich wurde angezweifelt, ob der Fischkäfig den Kräften auf offener See (Strömung, Seegang) standhalten könne, und wie sich das auf das Fundament der Windenergieanlage auswirken würde. Aus Sicht der Windkraftbetreiber und –hersteller hat die Stabilität des Fundaments oberste Priorität und es werden daher grundsätzlich Lösungen bevorzugt, die nicht mit dem Fundament in Berührung kommen. Es wurde darauf hingewiesen, dass bislang kaum Erfahrungen mit dem Betrieb der WEA bestehen und es sinnvoll wäre, die Anlage zunächst zu testen, bevor zusätzliche Installationen angebracht werden.

- **Zugangsrechte & Versicherung**

Es wurde darauf hingewiesen, dass Verantwortlichkeiten und Besitzverhältnisse der involvierten Akteure festgelegt werden müssten. Das Zugangsrecht für fischereiliche Fahrzeuge müsste geregelt sein, allerdings dürfen die Aquakulturanlagen die Zufahrt zu den Windenergieanlagen nicht beeinträchtigen und die WEA nicht beschädigen. Versicherungsrechtliche Aspekte müssen im Falle von Beschädigungen geklärt werden.

- **Fachpolitik für Fischerei & Aquakultur**

Es wurde bemängelt, dass es derzeit keine nationale Strategie /Positionspapier für Aquakultur und Fischerei gibt. Die Formulierung einer Fachpolitik für Aquakultur und Fischerei wurde vorgeschlagen, um deren Interessen in der Raumplanung besser berücksichtigen zu können und zu einer Abwägung der Interessen zu kommen. Ein solches Positionspapier sollte nicht nur Ziele für den Sektor benennen, sondern auch Strategien für multiple Nutzungen erarbeiten (z.B. räumliche Abgrenzungen).

7.5.3 Stakeholder-Workshop

Der Stakeholder-Workshop zu dem Thema „Fischzucht in Offshore-Windparks“ fand am 7. September 2011 am Institut für Marine Ressourcen (IMARE) GmbH in Bremerhaven statt. Es nahmen rund 40 Teilnehmer aus der Wirtschaft (Fischerei, Fischverarbeitungsindustrie, Windkraft), Behörden, Interessensverbänden (Umweltschutzverbände, Wirtschaftsverbände), Forschung und Presse teil. Eine Teilnehmerliste ist als Teil des Workshopberichts im Anhang VII beigefügt. Ziel des Workshops war es, über das Projekt zu informieren sowie die mögliche zukünftige Ausgestaltung im Rahmen einer breit angelegten Zusammenarbeit und kontinuierlichem Informationsaustausch voranzutreiben.

Um dieses zu erreichen:

- wurde allen Teilnehmern anhand einiger Vorträge ein ausreichender Informations- und Diskussionshintergrund bereitgestellt,
- konnten durch eine rege Diskussion die verschiedenen Interessen zu diesem Thema dargelegt und gebündelt werden,
- wurden gemeinsam mit den Akteuren wesentliche Potentiale und Hemmnisse für die kombinierte Nutzung von Windparks und Fischaquakultur gesammelt, und
- wurden mögliche Formen einer zukünftigen Zusammenarbeit besprochen.

Folgende Schlüsselfragen sollten beantwortet werden:

- Was ist der neueste Wissensstand zu einer kombinierten Nutzung von Fischaquakultur und Offshore-Windenergie? Welche neuen Erkenntnisse hat das Projekt „Open Ocean Multi-Use“ hierzu gebracht?
- Welche Potentiale und Hemmnisse bestehen für die Co-nutzung aus Sicht der relevanten Akteure (Wirtschaft, Forschung, Behörden, Interessensverbände)?
- Wo besteht weiterer Forschungsbedarf?

Ablauf des Workshops

Teil 1 - Vorträge: In diesem Block wurden die Projektergebnisse des seit Mitte 2010 vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) geförderten Projekts „Open Ocean Multi-Use“ präsentiert. Die Arbeitsgruppen Sozioökonomie, Biologie, Wirtschaftlichkeit und Technik stellten hierzu ihre Ergebnisse vor.

Teil 2 - Potentiale & Hemmnisse erarbeiten: Im 2. Block nach dem Mittagessen sollten die Teilnehmer gemeinsam Potentiale & Hemmnisse, sowie Lösungsansätze und Forschungsbedarf für die kombinierte Nutzung von Windparks und Fischaquakultur erarbeiten. Hierzu wurden folgende thematische Arbeitsgruppen angeboten: 1) Biologie, 2) Technologie, 3) Wirtschaftlichkeit, 4) Sozioökonomie und rechtliche Rahmenbedingungen.

Teil 3 - Weitere Vorgehensweise besprechen: Im letzten Block wurden die Ergebnisse der thematischen Arbeitsgruppen in großer Runde vorgestellt und mögliche Schwerpunkte für zukünftige Forschungsvorhaben identifiziert. Hierzu wurden mögliche Folgeprojekte aufgezeigt und konkrete Möglichkeiten der Zusammenarbeit besprochen.

Ergebnisse

Die Ergebnisse des Workshops wurden in einem separaten Bericht (siehe Anhang VII) festgehalten. Darüber hinaus sind die Ergebnisse in die Potentiale-Hemmnisse-Analyse eingeflossen (Anhang VI).

7.5.4 Verarbeitung der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Stakeholderanalyse wurden im Rahmen der Masterarbeit „The Role of Perceptions and Networks in Multiple Marine Resource Use: Integrating Aquaculture and Offshore Wind Farms in the North Sea“, eingereicht durch Frau Bente Vollstedt im Juni 2011, verarbeitet. Die vollständige Masterarbeit kann per Email (bente_vollstedt@hotmail.com) angefordert werden.

An einer Veröffentlichung der Ergebnisse der Studie zu rechtlichen und managementrelevanten Rahmenbedingungen für eine kombinierte Nutzung von Offshore-Windkraft und Aquakultur wird derzeit noch gearbeitet. Das Paper soll in einem internationalen Journal veröffentlicht werden (voraussichtlich Journal „Marine Policy“), vorläufiger Titel: „The emergence of multi-use ocean governance: regulatory framework for offshore windfarm-mariculture integration in Germany“.

Die Workshopteilnehmer wurden zudem in einen Emailverteiler aufgenommen und erhielten im Anschluss an die Veranstaltung einen Abschlussbericht (Anhang VII). Auf der Veranstaltung waren

zudem Pressevertreter anwesend, die ihrerseits einen Beitrag zur Veröffentlichung der Ergebnisse leisten. Es ist geplant, einen umfangreichen Projektbericht den Workshopteilnehmern, sowie anderen interessierten Personen zugänglich zu machen.

Ergebnisse der sozioökonomischen Arbeitsgruppe wurden außerdem auf der internationalen Konferenz „Marine Resources and Beyond“, 5-7. September 2011 in Bremerhaven (<http://www.mrb2011.org/>), im Rahmen eines Vortrags (Titel: „The emergence of multi-use ocean governance: potentials and constraints for offshore windfarm-mariculture integration in Germany“, L. Wever) präsentiert.

7.5.5 Anhänge

- i. Relevante Gesetzgebung für Offshore-Windkraft und Aquakultur in Deutschland – muss überarbeitet werden
- ii. „The Role of Perceptions and Networks in Multiple Marine Resource Use: Integrating Aquaculture and Offshore Wind Farms in the North Sea“, Masterarbeit vorgelegt durch Bente Vollstedt, Juni 2011 – Deutsche Zusammenfassung
- iii. Stakeholderliste
- iv. Zuständigkeiten und hierarchische Beziehungen von Institutionen im Bereich Offshore-Windkraft und marine Aquakultur in der Nordsee
- v. Interviewleitfaden für die Befragung verschiedener Akteure zur Integration von Offshore Windparks und Aquakultur
- vi. Potentiale-Hemmnisse-Analyse. Ergebnisse aus Stakeholderbefragungen, Diskussionen im Rahmen des Stakeholderworkshops, Literatur-recherche sowie eigene Überlegungen.
- vii. Workshopbericht -

Anhang I: Relevante Gesetzgebung für Offshore-Windkraft und Aquakultur in Deutschland

	Gesetz	Beschreibung
Völkerrecht		
	Seerechts-übereinkommen (SeeRÜbk)	Küstenstaaten haben souveränes Recht zur Nutzung lebender mariner Ressourcen in AWZ, verknüpft mit Pflicht, Erhaltungs- und Bewirtschaftungsmaßnahmen zur Nachhaltigkeit der Nutzung zu gewährleisten. Gewährt dem Küstenstaat Funktionshoheitsrechte: AWZ darf als Wirtschaftsraum zur Nutzung der Ressourcen, nicht aber als Siedlungsraum genutzt werden. Relevant speziell in Schutzgebieten. AQ wird zwar nicht explizit erwähnt, allerdings sieht das Abkommen Maßnahmen zur Verhinderung, Reduzierung und Kontrolle von Umweltverschmutzung vor. <u>Relevante Artikel:</u> Art 1 Absatz 4, 2 Abs 1, 3, 7, 8, 56, 57, 60-62, 77, 192ff
	Übereinkommen über die biologische Vielfalt (CBD)	Siehe CBD (2012) <u>Relevante Artikel:</u> Art1 (Ziele, Prinzipien), 8 h (verhindern der Einbringung nichtheimischer Arten)
Regionale Abkommen	OSPAR (Übereinkommen über den Schutz der Meeresumwelt des Nordostatlantiks)	Siehe OSPAR (2012)
	HELCOM	Siehe HELCOM (2012)
	Trilateraler Wattenmeerplan	TWP (2012)
Soft law	Verhaltenskodex für verantwortungsvolle Fischerei der FAO	Art.9 zur Entwicklung der Aquakultur
	ICES Code of Practice	ICES (2012)
Gemeinschaftsrecht		
AQ-spezifische	Verordnung (EG) Nr. 834/2007	über ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen, und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91

Gesetzgebung		
	Verordnung (EG) Nr. 710/2009	zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 889/2008 mit Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates im Hinblick auf Durchführungsvorschriften für die Produktion von Tieren und Meeresalgen in ökologischer/biologischer Aquakultur
	Verordnung (EG) Nr. 708/2007	über Verwendung nicht heimischer und gebietsfremder Arten in der Aquakultur und Verordnung (EG) Nr. 506/2008 der Kommission vom 6. Juni 2008 zur Änderung von Anhang IV der Verordnung (EG) Nr. 708/2007 des Rates vom 11. Juni 2007 über Verwendung nicht heimischer und gebietsfremder Arten in der Aquakultur <u>Zugeordnete Dokumente:</u> KOM(2009)541 Vorschlag für eine Verordnung des Rates zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 708/2007 über die Verwendung nicht heimischer und gebietsfremder Arten in der Aquakultur
	Richtlinie 2006/88/EG (Aquakulturrichtlinie)	mit Gesundheits- und Hygienevorschriften für Tiere in Aquakultur und Aquakulturerzeugnisse und zur Verhütung und Bekämpfung bestimmter Wassertierkrankheiten. Ersetzt Richtlinie 91/67/EWG des Rates vom 28. Januar 1991 betreffend die tierseuchenrechtlichen Vorschriften für die Vermarktung von Tieren und anderen Erzeugnissen der Aquakultur. <u>Zugeordnete Dokumente:</u> <ul style="list-style-type: none"> • Verordnung (EG) Nr. 1251/2008 der Kommission vom 12. Dezember 2008 zur Durchführung der Richtlinie 2006/88/EG des Rates hinsichtlich der Bedingungen und Bescheinigungsvorschriften für das Inverkehrbringen und die Einfuhr in die Gemeinschaft von Tieren in Aquakultur und Aquakulturerzeugnissen sowie zur Festlegung einer Liste von Überträgerarten. • Entscheidung der Kommission vom 12. Dezember 2008 zur Durchführung der Richtlinie 2006/88/EG des Rates in Bezug auf Quarantänenvorschriften für Tiere in Aquakultur • Entscheidung der Kommission vom 30. April 2008 zur Durchführung der RL 2006/88/EG hinsichtlich der Einrichtung einer Website für Informationen über Aquakulturbetriebe und genehmigte Verarbeitungsbetriebe. • Empfehlung des Ständigen Ausschusses des Europäischen Übereinkommens zum Schutz von Tieren in landwirtschaftlichen Tierhaltungen (T-AP) für die Haltung von Fischen in Aquakultur vom 5. Dezember 2005
	Richtlinie 2006/113/EG	Qualitätsforderungen an Muschelgewässer (kodifizierte Fassung)
	Richtlinien 91/492/EWG und	zur Festlegung von Hygienevorschriften für die Erzeugung und die Vermarktung von Muscheln und Fischereierzeugnissen

	91/493/EWG	Richtlinie 97/79/EG hinsichtlich der Veterinärkontrollen von aus Drittländern in die Gemeinschaft eingeführten Erzeugnissen
	Richtlinie 2001/18/EG	über die absichtliche Freisetzung genetisch veränderter Organismen in die Umwelt und zur Aufhebung der Richtlinie 90/220/EWG des Rates beinhaltet sowohl experimentelle Freisetzung sowie Inverkehrbringen genetisch veränderter Organismen als Produkt oder in Produkten in die Gemeinschaft.
	Verordnung (EG) Nr. 762/2008	über die Vorlage von Aquakulturstatistiken durch die Mitgliedstaaten und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 788/96 des Rates. Beschluss der Kommission vom 9. Februar 2010 zur Gewährung einer Übergangsfrist für die Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 762/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Vorlage von Aquakulturstatistiken durch die Mitgliedstaaten im Hinblick auf die Tschechische Republik, Deutschland, Griechenland, Österreich, Polen, Portugal und Slowenien
	Verordnung (EG) 1/2005	über den Transport von Tieren (betrifft auch Fischtransporte)
Absichtsbekundungen (spezifisch)	KOM (2009) 163	Grünbuch über Reform der Gemeinsamen Fischereipolitik Kapitel 5.9 befasst sich speziell mit der Rolle der AQ in der GFP und wirft folgende Fragen auf: Sollte die AQ als tragendes Element mit spezifischen Zielen und Instrumenten in die GFP integriert werden oder sollte es den Mitgliedstaaten überlassen werden, sie auf nationaler Basis auszubauen? Welche Instrumente sind notwendig, um die Aquakultur in die GFP zu integrieren? Die Rückmeldungen hierzu waren geteilt, der Prozess der Reform ist noch nicht abgeschlossen.
	KOM(2009) 162	Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament und den Rat – „Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Zukunft für die Aquakultur - Neuer Schwung für die Strategie für die nachhaltige Entwicklung der europäischen Aquakultur“ Industrie soll eine führende Rolle in der „blauen Revolution“ spielen: Technologie und Innovation, Ausarbeitung von Normen und Zertifizierungsverfahren, freiwillige Kennzeichnungs- und Zertifizierungsregelungen, EU-Erzeuger sollten Produkte auf dem Markt aufgrund ihrer Umweltleistung und hohen Gesundheitsstandards als hochwertige Erzeugnisse positionieren. Synergien sollten gesucht werden mit anderen maritimen Aktivitäten. Raumplanung wichtiges Instrument. Es soll gewährleistet werden, dass die im Rahmen der WRRL erstellten Bewirtschaftungspläne mindestens das derzeitige Schutzniveau der Muschelzuchtgebiete lt Richtlinie über Qualitätsanforderungen an Muschelgewässer wahren. Bessere Einbindung der Interessenträger und angemessene Unterrichtung der Öffentlichkeit.
Unspezifische	Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie	Die Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie ist die Umweltsäule der Europäischen Meerespolitik. Sie schafft den

Gesetzgebung	2008/56/EG	<p>Ordnungsrahmen für die notwendigen Maßnahmen aller EU-Mitgliedsstaaten, um bis 2020 einen „guten Zustand der Meeresumwelt“ in allen europäischen Meeren zu erreichen oder zu erhalten. Alle europäischen Meeresanrainerstaaten sind verpflichtet dies in ihren jeweiligen Meeresregionen durch die Erarbeitung und Durchführung von nationalen Strategien umzusetzen.</p> <p>Bis 2012 soll eine Anfangsbewertung des Zustands der Regionalmeere erfolgen. Hierzu werden naturwissenschaftliche, aber auch sozio-ökonomische Daten zu verschiedenen Nutzungen gesammelt.</p> <p>Die MSRRL verfolgt einen Ökosystemansatz und legt Meeresregionen und –unterregionen fest. Maßnahmenprogramme sollen flexibel und anpassungsfähig sein.</p> <p>Im Einklang mit den Zielen der WRRL: Die europäische Meeresstrategie und die MSRL sind inhaltlich mit den Zielen der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) abgestimmt, deren Geltungsbereich jedoch nicht über die küstennahen Gewässer hinaus reicht.</p> <p><u>Zugeordnete Dokumente:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Beschluss der Kommission vom 1. September 2010 über Kriterien und methodische Standards zur Feststellung des guten Umweltzustands von Meeresgewässern. Gestützt auf Meeresstrategie-RahmenRL. Baut auf WRRL auf. (2010/477/EU)
	Richtlinien Flora-Fauna-Habitate (FFH) und Vogelschutzgebiete (IBA) (NATURA 2000)	<p>Siehe NATURA 2000</p> <p>Auch in AWZ anwendbar.</p> <p>Der Vorgabe ist die Bundesrepublik durch die Einführung des § 38 BNatSchG nachgekommen, der die Festsetzung von geschützten Meeresflächen in der AWZ vorsieht.</p>
	Richtlinie 85/337/EWG und Richtlinie 97/11/EG zur Änderung der Richtlinie 85/337/EWG	über die Umweltverträglichkeitsprüfung bei bestimmten öffentlichen und privaten Projekten. Betrifft auch AQ: Intensive Fischzucht speziell erwähnt
	Richtlinie 2001/42/EG	über die Prüfung der Umweltauswirkungen bestimmter Pläne und Programme
	Richtlinie 2003/4/EG	über den Zugang der Öffentlichkeit zu Umweltinformationen und zur Aufhebung der Richtlinie 90/313/EWG des Rates
Absichtsbekundungen (unspezifisch)	KOM(2007)575	<p>Integrierte Meerespolitik der EU (Blue Paper)</p> <p>Das oberste Ziel der integrierten EU-Meerespolitik besteht darin, optimale Bedingungen für eine nachhaltige Nutzung der Ozeane und Meere zu schaffen und gleichzeitig Wachstum in der maritimen Wirtschaft und in den Küstenregionen zu ermöglichen. Aquakultur wird im Aktionsplan nur am Rande erwähnt.</p> <p><u>Zugeordnete Dokumente:</u></p>

		<ul style="list-style-type: none"> • Fortschrittsbericht 2009 legt strategische Ziele fest • Leitlinien für einen integrierten Ansatz der Meerespolitik: Bewährte Verfahren der integrierten meerespolitischen Entscheidungsfindung und der Konsultation der Interessengruppen KOM(2008) 395 • Mitteilung der Kommission vom 17. Dezember 2010 „Maritime Raumordnung in der EU – aktueller Stand und Ausblick“. Vorgehen auf EU-Ebene wird als erforderlich angesehen, um sicherzustellen, dass maritime Raumordnungskonzepte möglichst zusammenhängend und wirksam anzuwenden sind. Insbesondere grenzübergreifende Zusammenarbeit soll gefördert werden. Einheitliche Rahmenvorstellungen sollten erarbeitet werden. Konzepte insb. für Regionalmeere sollten stärker untereinander abgestimmt werden. • Mitteilung der Kommission vom 25. November 2008 „Fahrplan für die maritime Raumordnung: Ausarbeitung gemeinsamer Grundsätze in der EU“ KOM(2008) 791 Die MRO ist ein Instrument für eine verbesserte Entscheidungsfindung. Die MRO sollte auf den Besonderheiten der einzelnen Meeresregionen bzw. Unterregionen aufbauen. Es handelt sich um einen Prozess, der die Erhebung von Daten, die Anhörung der Interessengruppen und die partizipatorische Ausarbeitung eines Plans sowie die anschließenden Phasen der Umsetzung, der Durchführung, der Bewertung und der Neuausrichtung beinhaltet. • KOM(2010) 494 Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über ein Unterstützungsprogramm zur Weiterentwicklung der integrierten Meerespolitik • Zur Gestaltung der neuen Meerespolitik gehört auch, dass die Zivilgesellschaft und alle Betroffenen gehört und umfassende Folgenabschätzungen durchgeführt werden. • EU-Grünbuch "Die künftige Meerespolitik der EU: Eine europäische Vision für Ozeane und Meere" (KOM/2006/275) vom 7.6.2006
	IKZM Empfehlung (2002/413/EG)	Empfehlung des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2002 zur Umsetzung einer Strategie für ein integriertes Management der Küstengebiete in Europa
	Agenda 21	das entwicklungs- und umweltpolitische Aktionsprogramm diskutiert explizit die nachhaltige Nutzung und den Schutz mariner Ressourcen auf nationaler Ebene
Nationales Recht		
Spezifisch Aquakultur	Muschelverordnung	Siehe BGBl. II Nr. 93/1997
	Fischhygieneverordnung FischHV in der Neufassung vom 8. Juni 2000	Siehe FischHV (2000)

	[BGBl. I S. 819]	
	Nationale Verordnung zum Schutz von Tieren beim Transport und zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 1/2005 des Rates	Siehe TierSchTrV (2005)
	Fischseuchenverordnung (11/2008) (FSV)	setzt Aquakulturrichtlinie in nationales Recht um. Auf Grundlage des Tierseuchengesetz (zuletzt geändert 12/2007). Lt FSV besteht bei AQ-betrieben Genehmigungspflicht.
	Verordnung über anzeigepflichtige Tierseuchen (zuletzt geändert 12/2009)	Siehe TierSeuchAnzV (2009)
	Verordnung über meldepflichtige Tierkrankheiten (zuletzt geändert 4/2009)	Siehe TKrMeldpflV (2009)
	Seefischereirecht	Siehe SeeFischG (1984) Derzeit nicht auf Aquakultur anwendbar. Wird derzeit überarbeitet um Vorgaben der Reform der Gemeinsamen Fischereipolitik umzusetzen
Unspezifisch	Seeanlagenverordnung (SeeAnlV)	Die Seeanlagenverordnung legt einen gesetzlichen Rahmen für die Genehmigung von Offshore-Installationen fest. <u>Relevante Abschnitte:</u> Anlagen im Sinne der Verordnung sind gemäß §1 (2) Anlagen zur Energieerzeugung aus Wasser, Strömung und Wind, Anlagen, die anderen wirtschaftlichen Zwecken dienen, sowie Anlagen zum Zweck meereskundlicher Untersuchungen. Eine Ausnahme bildet die passive Fischerei. Alle Anlagen sind genehmigungspflichtig. § 2 und 3 regeln die Voraussetzungen für eine Genehmigung, § 5 legt den Ablauf des Genehmigungsverfahrens fest. § 6 erfordert die Zustimmung der örtlich zuständigen Wasser- und Schifffahrtsdirektion. § 7 legt die Einrichtung von Sicherheitszonen um die Anlagen herum fest.
	Raumordnungsgesetz (ROG), Novellierung zum 20. Juli 2004	Schafft die Grundlage für Raumordnung in AWZ, schreibt strategische Umweltprüfung (SUP-Richtlinie der EU) für derartige Planungsverfahren vor. Öffentlichkeit wird frühzeitig eingebunden. Nicht zur Anwendung kommen die

		Vorschriften zur Planerhaltung (§ 10), zum Zielabweichungsverfahren (§ 11), zur Untersagung rechtswidriger Planungen (§ 12) und zum Raumordnungsverfahren (§ 15).
	Verordnung über die Raumordnung in der deutschen AWZ in der Nordsee (AWZ Nordsee-ROV), vom 21. September 2009.	Legt Grundsätze und Ziele der Raumordnung hinsichtlich der wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Nutzung, der Gewährleistung der Sicherheit und Leichtigkeit der Seeschifffahrt sowie zum Schutz der Meeresumwelt fest.
	Bundesnaturschutzgesetz BNatSchG vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542) Landschaftspflege	in der Fassung der Bekanntmachung.. § 38 schafft Rechtsgrundlage zur Einrichtung von geschützten Meeresflächen nach Maßgabe der FFh-RL. Projekte, die diese Gebiete beeinträchtigen können, dürfen nur nach Maßgabe des § 34 durchgeführt werden. Man muss bei Genehmigung auch eventuelle Auswirkungen auf Nationalparks (Natura 2000 Gebiete) berücksichtigen. Werden Auswirkungen zu erwarten sein, muss gemäß Art 6 FFH eine FFH-Verträglichkeitsprüfung vorgenommen werden (was fast nie genehmigt wird).
	Wasserhaushaltsgesetz (WHG)	reguliert AQ allerdings nur an Land. Wurde geändert, um WRRL in nationales Recht umzusetzen. Ist allerdings bisher nicht auf AWZ anwendbar. Wird derzeit novelliert, um Vorgaben der Meeresstrategierahmenrichtlinie umzusetzen.
	Fischerei	Bundesländer haben ihre eigenen Regulierungen in Bezug auf Fischerei und AQ. Nur in Niedersachsen und Schleswig-Holstein gibt es Regulierungen für Kultivierung von marinen Organismen (Nds.FischG, LFischG, Nds.KüFischO 1992, KüFO 1999). Seefischereigesetz reguliert derzeit nur Fischerei (nicht AQ), allerdings wird das Gesetz derzeit novelliert und wird zukünftig auch AQ umfassen (lt. Brandt).
	Schutzgebiete	Nationalparkgesetz für Schleswig-Holstein NPG 1999, Gesetz über den Nationalpark Hamburgisches Wattenmeer 1990, Nationalparkgesetz Niedersachsen. Miesmuschel- und Austerkultivierung ist teilweise erlaubt. Vorgaben der Verordnung über die Festsetzung des Naturschutzgebietes „Östliche Deutsche Bucht“ vom 15. September 2005 (BGBl. I S. 2782): marine Aquakultur ist ausdrücklich verboten
	Gesetz über Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 05.09.01	Anlage 1 Liste UVP-pflichtiger Vorhaben beinhaltet auch „Intensive Fischzucht mit Einbringen oder Einleiten von Stoffen in oberirdische Gewässer oder Küstengewässer“ (13.2).– Allgemeine Vorprüfung des Einzelfalls von zuständiger Behörde durchzuführen. Es gibt auch Landes-UVPG, die sind aber nicht in AWZ anwendbar

	(BGB1: I S.2350):	
	Evtl. Bundesberggesetz	aber nur wenn Verankerungen zum Meeresboden benötigt werden
Absichtsbekundungen	IKZM Strategie (auf Bundes- und Länderebene)	Auf nationaler Ebene: „Integriertes Küstenzonenmanagement in Deutschland: Nationale Strategie für ein integriertes Küstenzonenmanagement. Bestandsaufnahme, Stand 2006.“ Beinhaltet eine Bestandsaufnahme der Küstenbereiche Nord- und Ostsee, sowie Schritte zu einer nationalen Strategie. Bezieht sich auf Küstenzone, nicht auf Meeresflächen in der AWZ. Die Strategie wäre allerdings durchaus zu berücksichtigen, wenn Aktivitäten in der AWZ potentielle Auswirkungen auf die Küstenzone haben.
	Meeresstrategie 2008: „Nationale Strategie für die nachhaltige Nutzung und den Schutz der Meere“.	Siehe EU 2008 Aquakultur nicht erwähnt. Instrumente: Raumordnung, Umweltüberwachung, Vernetztes Geodaten-Management, IKZM.

Anhang II „The Role of Perceptions and Networks in Multiple Marine Resource Use: Integrating Aquaculture and Offshore Wind Farms in the North Sea“

Deutsche Zusammenfassung der Masterarbeit vorgelegt von Bente Vollstedt, Juni 2011

Einleitung: Im Falle einer Integration von Offshore Windparks und Aquakulturanlagen besteht in vielerlei Hinsicht Forschungsarbeit. Innerhalb dieser Masterarbeit wurde vor allem die sozio-ökonomische Perspektive näher beleuchtet. Im Zuge einer multiplen Flächennutzung in der Nordsee werden verschiedene Stakeholder betroffen sein. Um Konflikte zu minimieren und die Belange der Stakeholder zukünftig in den Planungsprozess mit einbeziehen zu können, müssen die Akzeptanz und die Sichtweisen der relevanten Akteure erfasst werden. Die Fischer und die Offshore Betreiber könnten die am aktivsten involvierten Akteure eines solchen Projektes sein, somit muss auch besonders auf diese Akteure der Fokus gerichtet werden.

Methode: Um möglichst alle relevanten Akteure zu identifizieren, wurde eine umfassende Stakeholderanalyse mit den Projektpartnern und mittels Internetrecherche durchgeführt. Die Stakeholderanalyse beschränkte sich bezüglich der räumlichen Ebene auf Akteure innerhalb Deutschlands. Insgesamt wurden acht Stakeholdergruppen kategorisiert: Fischerei, Offshore Windenergie, Umweltorganisationen, Fischindustrie, Wirtschaftsförderung, wissenschaftliche Einrichtungen, maritime Technik und Verwaltung. Mit Hilfe eines semi-strukturierten Interviewbogens, welcher unter anderem die Akzeptanz und die Bedenken einer möglichen Co-Nutzung hinterfragt, wurden insgesamt 19 Stakeholder aus den verschiedenen Kategorien interviewt.

Ergebnisse: Mit der Auswertung der Interviews wurde ersichtlich, dass die Idee einer möglichen Co-Nutzung überwiegend als positiv aufgefasst wird und ein großes Bedürfnis einer multiplen Flächennutzung besteht. Nur ein Befragter aus dem Bereich der Verwaltung hat generell eine kritische Einstellung gegenüber der Windenergie und der Aquakultur und steht einer Co-Nutzung somit nicht positiv gegenüber. Zudem zeigte sich aber auch bei den anderen Stakeholdern, dass zahlreiche Bedenken in Bezug auf eine technische Umsetzung, ökonomische Belange, rechtliche und versicherungstechnische Aspekte, kulturelle Probleme, Probleme innerhalb der Zusammenarbeit, und umweltrelevante Aspekte bestehen. Tabelle 1 zeigt zusammenfassend zu den spezifischen Aspekten die genannten Bedenken.

Zusammenfassend zeigt Tabelle 57 zahlreiche Bedenken in Bezug auf eine Co-Nutzung. Dadurch wird offensichtlich, dass weiterer Forschungsbedarf unabdingbar ist, um die Bedenken der Stakeholder zu minimieren. Zudem konnten durch die Methode des semi-strukturierten Interviewbogens einige wichtige andere Aspekte, die weiterhin Berücksichtigung finden sollten, aufgedeckt werden. In den Interviews wurde ersichtlich, dass die Fischerei eine negative Einstellung gegenüber den Windparkbetreibern hat, da diese durch die Windparks die traditionellen Fanggründe verlieren. Darüber hinaus sagten einige Akteure, dass die deutschen Fischer nicht von den Windparks betroffen wären, sondern vor allem die Fanggebiete der dänischen, holländischen und belgischen Fischer verloren gingen.

Diskussion und Ausblick: Innerhalb der Interviews konnten gerade in Bezug auf den Fischereisektor keine Akzeptanzprobleme festgestellt werden. Aber einige Befragte stellen das Potential der Fischer als mögliche Betreiber und deren Akzeptanz in Frage, somit bedarf dieser Punkt hinreichender Klärung.

Zudem muss geklärt werden, ob die Stakeholderanalyse auf räumlicher Ebene erweitert werden muss und welche Fischer vor allem betroffen sind, da aus einigen Interviews hervorging, dass

überwiegend holländische, dänische und belgische Fischer ihre Fanggebiete durch die Windparks verlieren.²

Ein sehr wichtiger Aspekt sind Bedenken gegenüber den negativen Umweltauswirkungen der Aquakultur. Hier könnte ein herausgegebenes Papier von Greenpeace zu Kriterien von nicht-nachhaltiger Aquakultur zur Hilfe hinzugezogen werden. Zudem arbeitet der WWF an einem globalen Standard für Aquakultur, dem Aquaculture Stewardship Council (ASC), der die Möglichkeit bietet das Produkt zertifizieren zu lassen oder an dem sich ggf. auch orientiert werden kann.

Im Falle eines Co-Managements zwischen den Fischern und Windparkbetreibern muss ein Vertrauensverhältnis aufgebaut werden.

Tabelle 57: Unsicherheitsfaktoren der befragten Stakeholder zu den jeweiligen Aspekten

Aspekt	Unsicherheitsfaktoren
Technik	Technische Ausführbarkeit einer Co-Nutzung aufgrund der erhöhten Distanz zur Küste und Beschaffenheit der Nordsee Technische Kapazität, da die Windenergieanlagen erhöhten Lasten durch die Aquakulturanlagen ausgesetzt sind
Ökonomie	Wirtschaftlichkeit von Aquakulturanlagen wird in Frage gestellt, aufgrund von Negativerfahrungen und der erhöhten Distanz zur Küste Gewissenhafte Auswahl der Fischart, da diese rentabel und in der Aquakultur züchtbar sein muss
Recht und Versicherung	Verantwortlichkeiten und Besitzverhältnisse der involvierten Akteure müssen festgelegt werden Zugangsrecht für fischereiliche Fahrzeuge muss gegeben sein Versicherungsrechtliche Aspekte müssen im Falle von Beschädigungen geklärt werden
Soziales und Kulturelles	Flexibilität der Fischer wird in Frage gestellt, da die Aquakultur ein anderer Berufszweig als die traditionelle Fischerei darstellt. Akzeptanz der Windparkbetreiber muss gegeben sein
Zusammenarbeit	Aquakulturanlagen dürfen die Zufahrt zu den Windenergieanlagen nicht beeinträchtigen und die Windenergieanlagen dürfen durch die Aquakulturanlagen nicht beschädigt werden, somit ist es wichtig auch hier die technische Ausführbarkeit und die Verantwortlichkeiten zu regeln
Umwelt	Insbesondere Bedenken in Bezug auf offene Aquakultursysteme. Negative Umweltauswirkungen werden erwartet insbesondere durch Eutrophierung, genetischen Austausch mit wildlebenden Organismen und durch die Übertragung von Krankheiten

² http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user_upload/themen/meere/Greenpeace_Red_Grade_Criteria_for_Unsustainable_Aquaculture.pdf

Anhang III: Stakeholderliste

Stakeholdergruppe	relevante Akteure	Arbeits-/ Aufgabengebiet
Fischerei	Deutscher Fischereiverband e.V.	Interessensvertretung der Fischerei
	Kutterfisch GmbH	Fang, Verarbeitung und Vermarktung von Fischen
	Niedersächsische Muschelfischer GmbH	Muschelfischer
	Landesfischereiverband Schleswig-Holstein	Vertritt die Interessen der Berufsfischer an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste
	Landesvereinigung Nordseekrabben- und Küstenfischerei e.V.	Interessensvertretung der Nordseekrabben- und Küstenfischer
	Royal Frysk Muscheln GmbH	Verarbeitung und Vermarktung von tiefgefrorenem Seemuschelfleisch
	Schleswig-holsteinische Muschelfischer (einzelne Fischer)	Muschelfischer
	Bundesverband der deutschen Fischindustrie und des Fischgroßhandels e.V.	Berufsständische Vertretung der in Deutschland ansässigen Unternehmen der Fischbe- und -verarbeitung, des Fischgroßhandels und der Fischimporteure
	Verband Deutscher Fischereiverwaltungsbeamter und Fischereiwissenschaftler e.V.	Fischereiverwaltung und Fischereiwissenschaft
Behörden / Institutionen		Insel Vilm: Meeres- und Küstennaturschutz
	Bundesamt für Naturschutz (BfN)	Bonn: Raumordnungs- und Genehmigungsvorhaben des Bundes und der Länder in der AWZ, einschließlich Offshore-Windkraftnutzung
	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)	Referat KI III 3: Wasserkraft, Windenergie und Netzintegration der Erneuerbaren Energien
		Referat N II 1: Schutz und nachhaltige Nutzung der marinen Biodiversität, Küstennaturschutz
	Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMELV)	Referat 613 Fischereistruktur- und marktpolitik, Meeresumweltschutz
	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE)	Umsetzung der Gemeinsamen Fischmarktordnung, Bewirtschaftung der nationalen Fangquoten und Erstellung eines Verzeichnisses der Handelsbezeichnungen der Fischarten.
	Bundesanstalt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)	Genehmigungsbehörde Offshore Windparks
	Der Senator für Umwelt, Bau, Verkehr und Europa	Förderprogramm Angewandte Umweltforschung
	Johann Heinrich von Thünen-Institut (Forschungsinstitut)	Abteilung: Seefischerei Forschung im Bereich Marine Ökosysteme, Fischereiökonomie und Management
Abteilung: Fischereiökologie Aquakultur		

	Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und Ländliche Räume Schleswig-Holstein	Abteilung 3: Muschel- und Küstenfischerei
	Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK)	Interessensvertretung Fischer und Förderung Fischerei und Aquakultur
	Staatliches Fischereiamt Bremerhaven	Kontrolle auf Einhaltung der nationalen und internationalen Fischereivorschriften
	Umweltbundesamt (UBA)	Fachbereich: Meeresschutz
	Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nord und Nordwest	Zuständig für sichere befahrbare und bedarfsgerechte Wasserstraßen, für einen geordneten Schiffsverkehr und für Befahrensregelung innerhalb der Offshore Windparks
Windenergie	Amrumbank West GmbH	Planer Offshore Windpark „Amrumbank West“
	AREVA Wind GmbH	Hersteller von Windenergieanlagen für Offshore Projekte
	Arkona-Windpark-Entwicklungs GmbH (AWE)	Planer Offshore Windpark „Arkona-Becken Südost“
	Bard Engineering	Betreiber Offshore Windpark „BARD Offshore 1“, Planung Offshore Windparks
	Bundesverband Windenergie e.V.	Interessenvertreter der Windenergie, Förderung der Nutzung von Windenergie, Verbreitung von Fachinformationen
	Dan Tysk Offshore Wind GmbH	Planer Offshore Windpark „Dan Tysk“
	Deutsche Offshore-Testfeld- und Infrastruktur GmbH & Co. KG (DOTI)	Betreiber Offshore Windpark „Alpha Ventus“
	GE Energy	Hersteller von Windenergieanlagen
	GEO - Gesellschaft für Energie und Ökologie mbH	Planer Offshore Windparks „GEOReE - German Offshore Field for Renewable Energy“
	Energiekontor AG	Planer Offshore Windparks „Borkum Riffgrund West“; Betreiber „Nordergründe“
	Enova Energieanlagen GmbH	Planer Offshore Windparks
	EnBW Ostsee Offshore GmbH	Planer Offshore Windparks „EnBW Windpark Baltic 1 und 2“
	EWE AG	Betreiber Offshore Windpark
	fk-wind: Institut für Windenergie	Forschung im Bereich der Windenergietechnik
	ForWind Zentrum für Windenergieforschung	Forschung im Bereich Offshore Windenergie
	Fraunhofer IWES	Forschung im Bereich Windenergie
	Germany Mainstream Renewable Power Developments GmbH	Planer Offshore Windparks „Horizont I II III“
	Nördlicher Grund GmbH	Planer „Nördlicher Grund“
	Offshore-Windpark Delta Nordsee GmbH	Planer Offshore Windpark „Delte Nordsee1“
	PNE Wind AG	Planer Offshore Windpark „Borkum Riffgrund I“
	Projekt Ökoveat GmbH	Planer Offshore Windpark
	Prokon Nord Energiesysteme GmbH	Planer Offshore Windpark „Borkum West II, MEG Offshore I“
	REpower Systems AG	Hersteller Windenergieanlagen
	RWE Innogy GmbH	Planer Offshore Windpark
Siemens Wind Power GmbH	Hersteller Windenergieanlagen	
SSE Renewables Germany GmbH	Planer Offshore Windpark	
Stiftung Offshore Windenergie	Interessensvertretung der Windenergie	

	Technologiekontor Bremerhaven	Forschung und Entwicklung im Bereich der Windenergieindustrie
	Vestas Deutschland GmbH	Hersteller Windenergieanlagen
	WeserWind GmbH Offshore Construction Georgsmarienhütte	Vertrieb von Offshore Fundamenten
	Windenergie Agentur Bremerhaven/Bremen	Förderung der Windenergienutzung - Onshore und Offshore
	Windland Energieerzeugung GmbH	Planer Offshore Windpark
	WindMW GmbH	Planer Offshore Windpark „Meerwind Ost, Meerwind Süd“
	WKN Windkraft Nord AG	Hersteller Windenergieanlagen
	wpd think energy GmbH & Co. KG	Planer Offshore Windpark „Notos“
Vertreter aus der (maritimen) Technik	Center for Maritime Technologies e. V. (CMT)	Forschung, Entwicklung und Innovation im maritimen Bereich
	Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)	Moderationsrolle in Bezug auf die Windenergienutzungsstrategie der Bundesregierung, Errichtung eines Netzwerkes zwischen den verschiedenen Akteuren
	Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen	Forschung im Bereich Offshore-Technik
	Gesellschaft für Maritime Technik e.V.	Forschungseinrichtung in folgenden Themenfeldern: Offshoretechnik, marine Umwelttechnik, Aquakultur und Fischerei
	Impac Offshore Engineering GmbH	Bauindustrie im maritimen Bereich
	Institut für Stahlbau	Forschung im Bereich von bau- und umwelttechnischen Problemstellungen der Offshore Windenergieanlagen
	Fachverband Power System - VDMA	Fachverband, Kommunikationsplattform für die Hersteller von Windenergieanlagen und -komponenten
Umwelt- und Naturschutz/N GOs	BUND (Landesverband Nieders. e.V.)	Engagement im Bereich Umwelt- und Naturschutz
	DEEPWAVE e.V.	Schutz der Hoch- und Tiefsee
	Greenpeace	Umweltorganisation im Bereich Meere, Energie, Umwelt und Wirtschaft etc.
	NABU Landesverband Niedersachsen	Regionale Naturschutzorganisation
	WWF Deutschland	Umweltorganisation im Bereich Meere, Energie, nachhaltige Aquakultur etc.
Tiefkühlkosthersteller	Frosta	Hersteller von Tiefkühlprodukten
	Frozen Fish International GmbH	Produktion von Tiefkühlfischprodukten
	Royal Greenland	Zuständig für den Einkauf; Vors. für Tiefgefriererzeugnisse
	SEWE Frost	Herstellung und Vertrieb von Tiefkühlprodukten
	COSTA Meeresspezialitäten GmbH & Co.KG	Anbieter von tiefgekühlten Fisch- und Meeresspezialitäten
Wirtschaftsförderung	Bremerhavener Gesellschaft für Investitionsförderung und Stadtentwicklung mbH (BIS)	Wirtschaftsförderung in Bremerhaven
	Wirtschaft Cuxhaven	Wirtschaftsförderung in Cuxhaven

Anhang IV: Zuständigkeiten und hierarchische Beziehungen von Institutionen im Bereich Offshore-Windkraft und marine Aquakultur in der Nordsee

INSTITUTION	Aufgabenbereich
<p>Bundesamt für Naturschutz (BfN)</p>	<p>Aufgaben Das BfN ist im Bereich Meeresschutz für Naturschutz in den Gebieten der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone zuständig. Innerhalb der 12-Meilen-Zone sind die Bundesländer und ihre Behörden für den Meeresschutz zuständig. Im Rahmen der Genehmigungsverfahren für Seeanlagen in der AWZ ist das BfN für die naturschutzfachliche Beurteilung der Anlagen zuständig.</p> <p>Relevante Referate/Abteilungen Fachgebiet II5.2 Meeres- und Küstennaturschutz Fachgebiet II4.3 Erneuerbare Energien Fachgebiet II4.1 Landschaftsplanung, räumliche Planung und Siedlungsbereich (Mitwirkung an Raumordnungskonzepten in der AWZ)</p> <p>Position des BfN zur Nutzung der Offshore-Windenergie „Ziel des BfN ist es, den Ausbau der Offshore – Windkraftnutzung möglichst naturverträglich zu gestalten. Dabei ist die Standortwahl hinsichtlich der Vermeidung negativer Auswirkungen auf marine Arten und Lebensräume ganz entscheidend. Die Beurteilung der geplanten Windparks findet auf der Grundlage von Daten zu marinen Arten und Lebensräumen statt. Diese wurden entweder durch das BfN selbst erhoben oder durch ein umfassendes Forschungsprogramm des Bundesumweltministeriums zur ökologischen Begleitforschung der Offshore-Windkraftnutzung. Zusätzlich werden die Erkenntnisse der Nachbarländer hinzugezogen. Auf dieser Basis werden die zu erwartenden Auswirkungen prognostiziert.“ [http://www.bfn.de/0319_windenergie_position.html]</p> <p>Hierarchische Beziehung: Das Bundesamt für Naturschutz (BfN) unterliegt als Fachbehörde der Bundesregierung und der Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und bildet bei dem Verfahren zur Zulassung von Offshore Windenergieanlagen eine Zustimmungsbehörde für das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH). Das BfN arbeitet eng mit dem BMU und dem Umweltbundesamt (UBA) zusammen.</p>
<p>Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)</p>	<p>Aufgaben Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) ist innerhalb der Bundesregierung verantwortlich für die Umweltpolitik des Bundes. Zu den Aufgaben gehören ebenso die Förderung erneuerbarer Energien, als auch der Meeresnaturschutz, für welchen das BMU sowie seine Fachbehörde, das Bundesamt für Naturschutz, zuständig ist.</p> <p>Relevante Referate/Abteilungen Referat KI III 3: Wasserkraft, Windenergie und Netzintegration der Erneuerbaren Energien Referat N II 1: Schutz und nachhaltige Nutzung der marinen Biodiversität, Küstennaturschutz</p> <p>Förderprogramme Das BMU fördert auf Basis unterschiedlicher Förderprogramme zahlreiche Projekte, die das Ziel haben, Umweltbelastungen zu verringern. Der Beratungs- und Forschungsbedarf, der sich insgesamt aus den Ressortaufgaben des Bundesumweltministeriums ergibt, wird jährlich in einem Umweltforschungsplan (UFOPLAN) festgelegt. http://www.bmu.de/forschung_foerderung/doc/46943.php</p>

	<p>Das Bundesumweltministerium unterstützt Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur Nutzung der Offshore-Windenergie. In der Windenergieforschung geht es vor allem darum, die Kosten der Stromerzeugung zu senken, die Erträge zu steigern, einen zuverlässigen Betrieb der Windenergieanlagen zu gewährleisten, die Integration ins Netz voranzutreiben sowie den Ausbau der Windenergie auf See umwelt- und naturverträglich zu gestalten.</p> <p>[Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; ‚Entwicklung der Offshore-Windenergienutzung in Deutschland‘; Januar 2007, S.18, 26]</p> <p>Hierarchische Beziehung: Das BMU unterliegt der Bundesregierung. Es bildet häufig eine Arbeitsgruppe mit der ihr untergeordneten Fachbehörde Umweltbundesamt (UBA) und dem Bundesamt für Naturschutz (BfN).</p>
<p>Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)</p>	<p>Aufgaben</p> <ul style="list-style-type: none"> • Umweltschutz im Seeverkehr (MARPOL, Ölhaftung, Ballastwasserübereinkommen, Ölidentifizierung) • Sicherheit der Seeschifffahrt und Gefahrenabwehr • Seevermessung, Wracksuche, • nautische Informationssysteme • Dienstleistungen für die Seeschifffahrt (Flaggenscheine, Befähigungsnachweise für Seeleute, Schifffahrtspflege) • Warndienste (Wasserstands- und Gezeitenvorhersage, Sturmflutwarndienst, Eisdienst) • Überwachung des Meeres (im Hinblick auf Klimawandel und Umweltveränderungen) • Maritimes Geodatenzentrum • Raumordnung in der deutschen Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) • Genehmigungsverfahren für Offshore-Windparks und Pipelines <p>Genehmigungsverfahren in der ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ)</p> <p>Das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) ist zuständige Genehmigungsbehörde für Seeanlagen in der AWZ. Die Zuständigkeit des BSH ergibt sich aus § 5 Abs. 1 Nr. 4 i.V.m. § 1 Nr. 10a SeeAufgG. Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens gemäß Seeanlagenverordnung (SeeAnlV) koordiniert das BSH die Genehmigung von Projektanträgen, holt sich von den relevanten Fachbehörden Stellungnahmen und von den zustimmungspflichtigen Behörden die erforderlichen Genehmigungen ein. Zudem ist das BSH seit 2004 zuständig für die Raumordnung in der deutschen AWZ.</p> <p>http://www.bsh.de</p> <p>Hierarchische Beziehung: Das BSH ist eine Behörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.</p>
<p>Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMELV)</p>	<p>Aufgaben</p> <p>Das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) ist für den Schutz der wirtschaftlichen Interessen der Verbraucher zuständig und erfüllt seine Aufgaben in erster Linie durch Vorschläge gesetzlicher Regelungen zum Schutz der Verbraucherinnen und Verbraucher sowie die Vorbereitung politischer Entscheidungen. Es untergliedert sich in die Abteilungen 1) Zentralabteilung, 2) Verbraucherpolitik, 3) Ernährung, Lebensmittelsicherheit, Tiergesundheit, 4) Ländliche Entwicklung, Agrarmärkte, 5) Biobasierte Wirtschaft, Nachhaltige Forst- und Landwirtschaft, 6) EU-Politik, Internationale Zusammenarbeit, Fischerei. http://www.bmelv.de</p> <p>Relevante Referate/Abteilungen</p> <p>Abteilung 6 „EU-Politik, Internationale Zusammenarbeit, Fischerei“ - Referat 613 Fischereistruktur- und marktpolitik, Meeresumweltschutz</p>

	<p>Förderprogramme</p> <p>Die Forschung des BMELV ist eng mit den Zukunftsthemen Klimaschutz, Nachwachsende Rohstoffe und der Ernährung der Weltbevölkerung verknüpft. Eines der Haupt-Ziele ist, durch eine nachhaltige landwirtschaftliche Produktion die natürlichen Lebensgrundlagen zu schonen. Gleichzeitig sollen Perspektiven für den ländlichen Raum geschaffen werden. Nicht zuletzt sind die Sicherheit von Lebensmitteln und die gesunde Ernährung wichtige Forschungsthemen.</p> <p>Rund 400 Millionen Euro fließen jährlich, um die Forschung des BMELV zu diesen Themen voranzubringen. Der Forschungsbedarf für die nächsten Jahre ist im Forschungsplan des BMELV niedergelegt. Die wissenschaftlichen Erkenntnisse für die Vorbereitung der politischen Entscheidungen des BMELV liefern in erster Linie die Ressortforschungseinrichtungen. Außerdem fördert das BMELV Forschungsvorhaben aus dem Innovationsprogramm und in den Bereichen Nachwachsende Rohstoffe und Ökologischer Landbau.</p> <p>Hierarchische Beziehung: Das BMELV ist eine übergeordnete Behörde u.a. der BLE. Dem BMELV zugeordnet ist außerdem die Bundesforschungsanstalt für Fischerei (BFAFi) die sich mit Problemen der Fischerei beschäftigt. Seit dem 1. Januar 2008 ist die bisherige Bundesforschungsanstalt für Fischerei Teil des neu gegründeten Johann Heinrich von Thünen-Instituts (vTI); Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei.)</p>
<p>Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE)</p>	<p>Aufgaben</p> <p>Die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) nimmt vielfältige Verwaltungsaufgaben im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) wahr.</p> <p><u>Aufgabenbereich Fischwirtschaft & Fischerei:</u> Umsetzung der Gemeinsamen Fischmarktordnung, Bewirtschaftung der nationalen Fangquoten und Erstellung eines Verzeichnisses der Handelsbezeichnungen der Fischarten. In AWZ zuständig gemäß Seefischereigesetz. http://www.ble.de</p> <p>Hierarchische Beziehung: Die BLE stellt eine nachgeordnete Behörde des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMELV) dar.</p>
<p>Der Senator für Umwelt, Bau, Verkehr und Europa</p>	<p>Aufgaben</p> <p>Die Behörde des Senators für Umwelt, Bau und Verkehr ist umfassend zuständig für Planung, Bau und Unterhaltung der öffentlichen Infrastruktur in Bremen. Die Umsetzung der Maßnahmen erfolgt teilweise durch die senatorische Behörde, durch beauftragte Dritte aber zum großen Teil auch in nachgeordneten Ämtern. http://www.bauumwelt.bremen.de</p> <p>Im Fachbereich Umweltwirtschaft, Klima- und Ressourcenschutz angesiedelt ist u.a. der Bereich Umweltinnovation. Auf der virtuellen Plattform www.umwelt-unternehmen.bremen.de kann man sich über umwelt-und ressourcenschonende Aktivitäten und Initiativen für Unternehmen, aber auch für wissenschaftliche Einrichtungen im Land Bremen informieren.</p> <p>Förderprogramm Angewandte Umweltforschung</p> <p>„[...] Das Förderprogramm Angewandte Umweltforschung unterstützt innovative Wissenschaftsprojekte, die dazu beitragen, die natürliche Umwelt zu schützen und Lebensqualität zu erhalten. Gleichzeitig geht es darum, Forschung zu stärken, die Impulse für eine nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung im Land</p>

	<p>Bremen und in der Region gibt. [...]“ Die Windkraftnutzung bildet einen Forschungsschwerpunkt. [http://www.umwelt-unternehmen.bremen.de/Angewandte_Umweltforschung.html; 30.08.2011; 14:01]</p> <p>Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr koordiniert zudem die Landes AG Windenergie, in der sich die beteiligten Kreise regelmäßig über die aktuellen Themen im Bereich Windenergie austauschen. So ist gewährleistet, dass eine enge Verzahnung von Ressorts, Magistrat, Wirtschaftsförderungsgesellschaften, Netzwerken, Forschungseinrichtungen und Fort- und Ausbildungsträgern den gemeinsamen bremischen Standpunkt widerspiegelt. Das Land Bremen unterstützt die Windenergiebranche, indem es die Windenergie Agentur (wab) fördert. Die wab ist das Kompetenz-netzwerk für Windenergie in der Nordwest-Region. [http://www.umwelt-unternehmen.bremen.de/Windenergie_2.html; 30.08.2011; 14:05h]</p>
<p>Der Senator für Wirtschaft und Häfen der Freien und Hansestadt Bremen</p>	<p>Aufgaben</p> <p>Der Senator für Wirtschaft, Arbeit und Häfen der Freien Hansestadt Bremen ist für alle Fragen der Wirtschafts- und Hafenpolitik verantwortlich. Außerdem ist das Ressort oberste Luftfahrtbehörde und unter anderem zuständig für die Bereiche Marketing, Technologie, Innovation, Landwirtschaft, Ernährungswirtschaft und Verbraucherangelegenheiten.</p> <p>Die Behörde ist sowohl als Landesministerium unseres Zwei-Städte-Staats als auch als kommunale Verwaltung der Stadt Bremen tätig. Sie koordiniert ferner die Arbeit des Hansestadt Bremischen Hafenamtes als nachgeordnete Behörde sowie der dem Senator für Wirtschaft und Häfen zugehörigen öffentlichen Gesellschaften. http://www.wirtschaft.bremen.de</p> <p>Der Senator für Wirtschaft und Häfen der Freien und Hansestadt Bremen stellt einen für die Fischerei zuständigen obersten Fischereireferenten.</p> <p>Relevante Referate/Abteilungen</p> <p>Referat 12: Fischwirtschaft</p>
<p>Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und Ländliche Räume Schleswig-Holstein (LLUR)</p>	<p>Aufgaben</p> <p>Das LLUR ist in acht Abteilungen gegliedert. Diese umfassen die Bereiche Landwirtschaft, Fischerei, Naturschutz, Gewässer, Geologie und Boden, technischen Umweltschutz und ländliche Räume. http://www.schleswig-holstein.de/LLUR/</p> <p>Relevante Referate/Abteilungen</p> <p>Abteilung 3: Fischerei</p> <p>Dezernat 31 - Binnenfischerei und Aquakultur: für fischereiliche Belange an Seen und Fließgewässern sowie für die Aquakulturanlagen zuständig.</p> <p>Dezernat 32 – Küsten- und Muschelfischerei: für fischereiliche Belange an Küstengewässern sowie für die Fischereiaufsicht zuständig</p> <p><u>Zuständigkeiten des Dezernats Binnenfischerei und Aquakultur</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Beantwortung grundsätzlicher Anfragen zur Binnenfischerei und Aquakultur in Schleswig-Holstein • Fischereiliche Hege in Binnengewässern und Erstellung von Hegeplänen • Registrierung zur gewerblichen Aalfischerei und Erfüllung der Berichtspflichten nach der EU-Aalverordnung • Anträge auf Haltung nicht heimischer und gebietsfremder Fischarten in der Aquakultur gemäß der EU-Aquakulturartenverordnung • Fachliche Grundlagen und Durchführung der „Fischartenhilfsmaßnahmen“

	<ul style="list-style-type: none"> • Fachtechnische Stellungnahmen zu binnenfischereilichen Fragen • Genehmigung von Fischereipachtverträgen • Erteilung von fischereirechtlichen Ausnahmegenehmigungen an Binnengewässern • Ehrenamtliche Fischereiaufsicht an Binnengewässern <p><u>Zuständigkeiten des Dezernats Küsten- und Muschelfischerei</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Grundsatzfragen des Fischereirechts und der Fischereiausübung an Küstengewässern • Muschelmanagement (Überwachung der Fischerei, Bewirtschaftungsstrategien, Muschelmonitoring) • Fischereiaufsicht an Küstengewässern • Schutz der Fische an technischen Anlagen (Konzepte, Monitoring etc.) • Fachtechnische Stellungnahmen und Gutachten zu fischereilichen Belangen an Küstengewässern • Erteilung von fischereirechtlichen Ausnahmegenehmigungen an Küstengewässern <p>Hierarchische Beziehung: <i>Das Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und Ländliche Räume Schleswig-Holstein (LLUR) erfüllt die Zuständigkeit für Fischerei auf Länderebene. Es stellt eine nachgeordnete Behörde des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (MLUR) dar.</i></p>
<p>Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK)</p>	<p>Aufgaben</p> <p>Die Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK) ist die Selbstverwaltungsorganisation der Landwirtschaft in Niedersachsen. Sie vertritt die fachlichen Interessen der Arbeitgeber und der Arbeitnehmer in der Land- und Forstwirtschaft und im Gartenbau. Die wichtigsten Aufgaben der Landwirtschaftskammer sind die Beratung und die Aus-, Fort- und Weiterbildung der Arbeitgeber und der Arbeitnehmer in der Land- und Forstwirtschaft. Darüber hinaus nimmt die Landwirtschaftskammer zahlreiche Aufgaben im hoheitlichen Wirkungsbereich wahr. Dazu gehören die Umsetzung von Gesetzen und Verordnungen und die verwaltungsmäßige Abwicklung von zahlreichen Aufgaben in der staatlichen Agrarförderung. Die Landwirtschaftskammer nimmt außerdem gegenüber anderen öffentlich-rechtlichen und staatlichen Körperschaften in Niedersachsen die Aufgaben der landwirtschaftlichen Fachbehörde wahr.</p> <p>http://www.lwk-niedersachsen.de/</p> <p>Relevante Referate/Abteilungen</p> <p>Geschäftsbereich 3 (Landwirtschaft) – Fischereireferat 3.6</p> <p>Fischerei-Förderung in Niedersachsen</p> <p>Fischerei und Aquakultur sind innerhalb der Europäischen Union wichtige Wirtschaftszweige, besonders in bestimmten Küstenregionen, in denen es kaum wirtschaftliche Alternativen gibt. Im Rahmen der Gemeinsamen Fischereipolitik (GFP) beteiligt sich die Gemeinschaft mit dem Europäischen Fischereifonds (EFF) aktiv an der Weiterentwicklung dieses Wirtschaftszweiges.</p> <p>Die Landwirtschaftskammer Niedersachsen gewährt dabei im Namen des Landes Niedersachsen nach der „Richtlinie über die Förderung der Verbesserung der Verarbeitungs- und Vermarktungsstruktur in der Fischwirtschaft sowie Förderung der Verbesserung der Ausrüstung von Fischereihäfen“</p> <ul style="list-style-type: none"> • Betrieben der Fischwirtschaft Zuwendungen zur Verbesserung der Verarbeitung und Vermarktung von Erzeugnissen der Fischerei und der Aquakultur, • Trägern von Fischereihäfen Zuwendungen zur Verbesserung der Ausrüstung niedersächsischer Fischereihäfen. <p>[http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/5/nav/515/article/14834.html; 31.08.2011;</p>

	11:05h]
Staatliches Fischereiamt Bremerhaven	<p>Aufgaben:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fischereiaufsicht, hierbei insbesondere Kontrolle auf Einhaltung der nationalen und internationalen Fischereivorschriften wie z. B. Netzmaschenöffnungsweiten, Fischlängen, Fangbegrenzungen für quotierte Fischarten etc., Kontrolle der "Weserfischer" auf Lösen des Erlaubnisscheins, Einhaltung der Art und Menge der erlaubten Fanggeräte usw. • Quotenüberwachung bestimmter Fischarten durch Prüfung der Logbuchscheine • Statistische Auswertung der Fangmeldungen • Förderung von Ankauf-, Neubau- und Modernisierungsmaßnahmen mit öffentlichen Mitteln der EU, des Bundes und des Landes Niedersachsen für Fischereifahrzeuge der Haupterwerbsfischerei • Förderung von Existenzgründungen (hier: Betriebe der Haupterwerbsfischerei) mit öffentlichen Mitteln • Gewährung von Stilliegeprämien und Abwrackbeihilfen • Muschelfischereimanagement • Fachliche Stellungnahmen zu fischereilichen bzw. fischereibiologischen Maßnahmen • Erteilung von Fischereikennzeichen für Haupt- und Nebenerwerbsfahrzeuge der Küsten- und Hochseefischerei • Ausgabe von Fischereikarten für die Weser bis zur Grenze der Stadt Bremen einschließlich der Hunte bis Huntebrück <p>[http://www.bremerhaven.de/buergerservice/aemter-einrichtungen/andere-dienststellen/staatliches-fischereiamt-bremerhaven.9337.html; 31.08.2011; 10:05h]</p> <p>Hierarchische Beziehung: <i>Untergeordnete Behörde des Niedersächsischen Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz und Landesentwicklung. Fischerei auf Länderebene/ Niedersachsen. Das Fischereiamt ist dabei zuständig für die Fischereiverwaltung und -aufsicht zwischen Hamburg und der niederländischen Grenze. Aufgrund seiner Zentralität ist das Amt deshalb in Bremerhaven ansässig.</i></p>
Umweltbundesamt (UBA)	<p>Aufgaben</p> <p>Die wichtigsten gesetzlichen Aufgaben des UBA sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> • die wissenschaftliche Unterstützung der Bundesregierung (u. a. Bundesministerien für Umwelt, Gesundheit, Forschung, Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung) • der Vollzug von Umweltgesetzen (z. B. Emissionshandel, Zulassung von Chemikalien, Arznei- und Pflanzenschutzmitteln) • die Information der Öffentlichkeit zum Umweltschutz. <p>http://www.umweltbundesamt.de/</p> <p>Relevante Referate/Abteilungen</p> <p>Abteilung II.2 Wasser und Boden – FG II 2.3 Meeresschutz; FG II 2.1 Übergreifende Angelegenheiten Gewässergüte und Wasserwirtschaft, Grundwasserschutz</p> <p>Abteilung I.2 Klimaschutz und Energie – FG I 2.3 Erneuerbare Energien</p> <p>Genehmigungsverfahren</p> <p>Innerhalb des Genehmigungsverfahrens für Seeanlagen in der AWZ gemäß Seeanlagenverordnung ist das UBA Träger öffentlicher Belange und wird vom BSH um Stellungnahmen zu den einzelnen Projekten gebeten. Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens wird geprüft ob die einzelnen Schutzgüter der Meeresumwelt (z.B. Boden, Wasser, Benthos, Fische, Vögel und Meeressäuger) durch das</p>

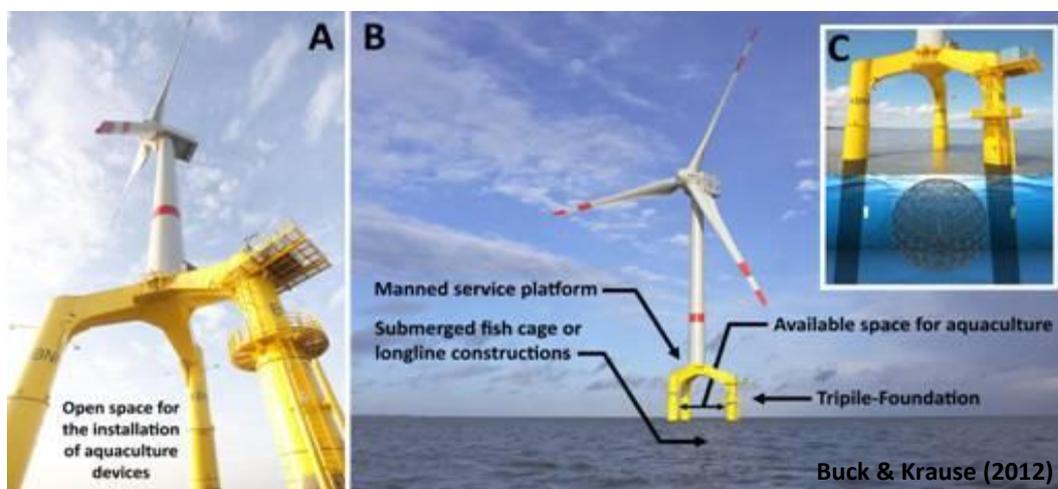
	<p>Windparkprojekt gefährdet werden. Die Bewertung der Auswirkungen auf die Meeresumwelt setzt schutzgutbezogene Bewertungsmaßstäbe voraus. Grenzwerte und Erheblichkeitsschwellen, wie sie in Genehmigungsverfahren anderer Nutzungen zur Bewertung der Umweltverträglichkeit herangezogen werden, sind für die Windenergienutzung im Meer noch in der Entwicklung. Auch ist noch nicht abschließend geklärt inwieweit kumulative Auswirkungen, d.h. die Summe aller Auswirkungen der Vielzahl der geplanten Windparks, die Meeresumwelt beeinflussen. [...]</p> <p>[http://umweltbundesamt.de/wasser/themen/meere/offshore-windenergie.htm; 31.08.2011; 16:06h]</p> <p>Zudem ist das UBA derzeit involviert in die Umsetzung der Meeresstrategierahmenrichtlinie (MSRRL), welche in einem ersten Schritt eine Zustandsbewertung der marinen Gewässer vorschreibt, auf deren Basis eine nationale Strategie zur Erhaltung bzw. Erreichung des guten Zustands der Meeresgewässer erarbeitet wird. (<i>pers comm Rechenberg</i>)</p> <p>Hierarchische Beziehung: Das Umweltbundesamt (UBA) unterliegt als Fachbehörde dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU).</p>
<p>Wasser- und Schifffahrtsdirektionen Nord / Nordwest</p>	<p>Aufgaben</p> <p>Die Wasser- und Schifffahrtsdirektionen sind zuständig für sichere befahrbare und bedarfsgerechte Wasserstraßen, für einen geordneten Schiffsverkehr und für Befahrensregelung innerhalb der Offshore Windparks. Im Rahmen der Genehmigungsverfahren nach Seeanlagenverordnung sind die WSD Zustimmungsbehörde, und als Fachbehörde zuständig für die Umsetzung der schifffahrtspolizeilichen Auflagen aus den Nebenbestimmungen bei Bau und Betrieb. Gleichfalls obliegt der Verwaltung die Gewährleistung der Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs im Umfeld von Offshore-Windkraftanlagen im Rahmen der maritimen Verkehrssicherung.</p> <p>[http://www.wsd-nord.wsv.de/Schiff-WaStr/Schifffahrt/Windparks_auf_hoher_See/; 31.08.2011; 16:10h]</p> <p>Nach Erteilung des Genehmigungsbescheides sind die WSD zuständig für die Einrichtung einer einer Sicherheitszone, die nur vom Anlagenbetreiber (d.h. Windparkbetreiber ebenso wie AQ-Betreiber) und grundsätzlich Schiffen unter 24m befahren werden darf. Die WSD kann bei Sicherheitsbedenken weitere Einschränkungen machen (Befahrensverbot z.B. bei Nacht, Sturm, Nebel). Hierzu wird eine Allgemeinverfügung erlassen. Die einzelnen WSDen (Nord, Nordwest) legen entsprechend den Anforderungen der Region dann fest, welche Einschränkungen sie vornehmen (<i>pers comm Kurtz</i>).</p> <p>Hierarchische Beziehung:</p> <p>Die dem Bundesministerium für Verkehr-, Bau und Stadtentwicklung nachgeordnete Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) ist zuständig für die Verwaltung der Bundeswasserstraßen und für die Regelung des Schiffsverkehrs. Die WSV gliedert sich in 7 Wasser- und Schifffahrtsdirektionen, 39 Wasser- und Schifffahrtsämter und 7 Wasserstraßenneubauämter.</p>
<p>Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucher</p>	<p>Aufgaben</p> <p>Die Geschäftsbereiche des niedersächsischen Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz und Landesentwicklung (ML) umfassen 1) Agrarpolitik, Agrarwirtschaft, Bodenschutz, 2) Verbraucherschutz, Tiergesundheit, Tierschutz, 3) Agrarverwaltung, Landesentwicklung, Förderung, und 4) Verwaltung, Recht, Forsten.</p> <p>http://www.ml.niedersachsen.de</p> <p>Relevante Referate/Abteilungen</p>

chutz und Landesentwicklung	<p>Abteilung 1, Referat 102 Fischwirtschaft</p> <p>Das ML stellt einen für die Fischerei zuständigen obersten Fischereireferenten.</p> <p>Hierarchische Beziehung: Die Aufgaben, die in den Bereich des Niedersächsischen Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz und Landesentwicklung fallen, werden von einer Vielzahl nachgeordneter Dienststellen wahrgenommen; im Bereich der Fischereiverwaltung gehören hierzu das Staatliche Fischereiamt Bremerhaven, und der Fischereikundliche Dienst des Landes Niedersachsen beim Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (LAVES). Ein Teil der Aufgaben wird auch von Körperschaften und Anstalten des öffentlichen Rechts wahrgenommen, die der Rechts- bzw. Fachaufsicht des Ministeriums unterstehen und der sogenannten mittelbaren Landesverwaltung zuzurechnen sind; hierzu gehört im Bereich der Fischerei die Landwirtschaftskammer Niedersachsen.</p>
Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein (MLUR)	<p>Aufgaben</p> <p>Zur Fischereiverwaltung in Schleswig-Holstein gehören die oberste Fischereibehörde, das Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume und die obere Fischereibehörde – das Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR), Abteilung Fischerei, mit sechs Außenstellen – die für die Küstengewässer in Nord- und Ostsee sowie die Binnengewässer zuständig ist. Dem Ministerium obliegt die Koordination des LLUR und deren Abteilungen. Das Ministerium erfüllt dabei die übergeordneten Aufgaben und grundsätzlichen Angelegenheiten.</p> <p>[http://www.schleswig-holstein.de/MLUR/DE/OrganisationAufgaben/Uebersicht/Uebersicht_node.html]; 31.08.2011; 10:46h]</p> <p>Relevante Referate/Abteilungen</p> <p>Abteilung 2: Landwirtschaft, Fischerei, ländliche Räume Abteilung 4: Wasserwirtschaft, Meeres- und Küstenschutz</p> <p>Hierarchische Beziehung: Dem Ministerium obliegt die Koordination der Landesämter für Landwirtschaft, Umwelt und Ländliche Räume Schleswig-Holstein (LLUR) und deren Abteilungen.</p>
Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN)	<p>Aufgaben</p> <p>Die Landesaufgaben der Wasserwirtschaft und des Naturschutzes wurden ab 2005 komplett beim Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) konzentriert. Geschäftsbereiche umfassen 1) Betrieb und Unterhaltung landeseigener Anlagen u. Gewässer, Schadstoffunfallbekämpfung, 2) Planung und Bau für Hochwasser- und Küstenschutz und Gewässerrenaturierung, 3) Flussgebietsmanagement, Hochwasserschutzkonzeptionen, Gewässerkundlicher Landesdienst, Forschungsstelle Küste, Radiologische Überwachung, 4) Naturschutz (insb Natura 2000) Arten-/Biotopschutz, Vertragsnaturschutz, staatl. Vogelschutzwarten, 5) allg. Verwaltung, Finanz- und Rechnungswesen, Personal, und 6) Wasserwirtschaftliche Zulassungsverfahren.</p> <p>http://www.nlwkn.niedersachsen.de/</p> <p>Welche Zuständigkeiten der NLWKN im Einzelnen hat, ergibt sich aus den Zuständigkeitsverordnungen für das Wasserrecht und das Deichrecht (ZustVO-Wasser und ZustVO-Deich).</p> <p>[http://www.nlwkn.niedersachsen.de/live/live.php?navigation_id=7967&article_id=43558&psmand=26]</p> <p>Hierarchische Beziehung: Im Zuge der Verwaltungsreform entstand zum 1. Januar 2005 der Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) aus dem</p>

	<p><i>Zusammenschluss mehrerer vormals selbstständiger Institutionen (Landesbetrieb für Wasserwirtschaft und Küstenschutz, Landesamt für Ökologie, und Dezernate für Naturschutz und Wasserwirtschaft der vier 2004 aufgelösten Bezirksregierungen Weser-Ems, Hannover, Lüneburg und Braunschweig. Das NLWKN ist im Bereich Naturschutz dem BfN untergeordnet (bis zur Ländergrenze 12sm ist die Wasserbehörde auf Länderebene zuständig, darüber hinaus das BfN).</i></p>
<p>Johann Heinrich von Thünen-Institut - Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei (vTI)</p>	<p>Aufgaben Das Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, gehört zum Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV). Es erarbeitet wissenschaftliche Grundlagen als Entscheidungshilfen für die Agrar-, Forst-, Fischerei- und Verbraucherschutzpolitik der Bundesregierung. Im Rahmen dieser Aufgaben ist das vTI wissenschaftlich selbstständig. http://www.vti.bund.de</p> <p>Relevante Referate/Abteilungen Institut für Seefischerei: Forschung im Bereich Marine Ökosysteme, Fischereiökonomie und Management Institut für Fischereiökologie – Forschungsbereich Aquakultur</p> <p>Hierarchische Beziehung: <i>Seit dem 1. Januar 2008 ist die bisherige Bundesforschungsanstalt für Fischerei (BFAFi) Teil des neu gegründeten Johann Heinrich von Thünen-Instituts (vTI), Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei. Das Institut ist dem Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMELV) zugeordnet.</i></p>

Anhang V: Interviewleitfaden für die Befragung verschiedener Akteure zur Integration von Offshore Windparks und Aquakultur

Vor dem Hintergrund zunehmender Nutzungskonflikte auf dem Meer befassen wir uns im Rahmen des vom Bundesumweltministerium geförderten Forschungsprojektes „Open Ocean Multi-Use“ mit einer möglichen Co-Nutzung von Offshore Windparks und Aquakultur (Kultivierung von Fischen, Muscheln oder Algen). Projektidee ist, dass beide Akteure das Meeresgebiet gemeinsam nutzen, indem die Aquakulturanlagen in die Offshore Windparks integriert werden. Über die mögliche Kultivierung von Muscheln und Algen sind bereits detaillierte Studien durchgeführt worden. Der Schwerpunkt unserer jetzigen Arbeit liegt auf der möglichen Kultivierung von Fischen. Ein neu gestaltetes Fundament für Windkraftanlagen (Tripile) lässt die Überlegung zu, dass in dem Zwischenraum Fischkäfige integriert werden können (siehe Abbildung). Um Aussagen über eine mögliche Co-Nutzungen machen zu können, werden derzeit wirtschaftliche, biologische, technische und sozioökonomische Untersuchungen vorgenommen.



1. Akzeptanz einer möglichen Co-Nutzung

- 1.1 Ist Ihnen die oben beschriebene Überlegung bekannt?
- 1.2 Wenn ja, woher stammt diese Information?
 - 1.2.1 Können Sie sich eine Kombination von Offshore Windparks und Aquakultur vorstellen?
 - 1.2.2 Unter welchen Voraussetzungen scheint Ihnen die Kombination realisierbar?
 - 1.2.3 Was sind aus Ihrer Sicht die Potentiale/Stärken (z.B. Synergieeffekte) einer solchen Co-nutzung?
 - 1.2.4 Welche Hemmnisse (z.B. Bedenken, Hindernisse, Interessenskonflikte) sehen Sie?
- 1.3 Wo sehen Sie weiteren Handlungs- und Wissensbedarf?
- 1.4 Wie schätzen Sie die generelle Akzeptanz einer Integration von Offshore-Windparks und Aquakultur innerhalb Ihres Sektors ein?
 - 1.4.1 Haben Sie Anregungen, wie sich die Akzeptanz innerhalb Ihres Sektors verbessern lassen könnte?

2. Netzwerke

- 2.1 Kommunizieren Sie auch sektorübergreifend?
 - 2.1.1 Mit welchen Akteursgruppen (siehe unten) kommunizieren Sie?
 - 2.1.2 Wie sieht diese Kommunikation bzw. Zusammenarbeit aus?

Mögliche Akteursgruppen bei einer Co-Nutzung

- Fischerei
- Behörden/Institutionen
- Windenergie
- Maritime Technik
- Umwelt- und Naturschutz
- Tiefkühlkost Hersteller
- Tourismus
- Fischverarbeitung
- Forschung

- 2.2 Werden über Ihre Kontakte auch Informationen zur möglichen Co-Nutzung von Offshore Windparks und Aquakultur ausgetauscht?
- 2.3 Hat sich Ihre Einstellung zur Co-Nutzung von Offshore Windparks und Aquakultur im Laufe der Zeit verändert?
 - 2.3.1 Wodurch hat sich Ihre Einstellung verändert?
- 2.4 Fühlen Sie sich (persönlich und stellvertretend für den Sektor) gut informiert zum oben genannten Thema?
 - 2.4.1 Wo besteht noch Informationsbedarf?

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!

Kontakt:
 IMARE - Institute for Marine Resources GmbH
 Lara Wever, Bente Vollstedt
 Bussestraße 27
 27570 Bremerhaven
 0471-4831-2815
Lara.Wever@imare.de; Bente.Vollstedt@imare.de

Anhang VI: Potentiale-Hemmnisse-Analyse. Ergebnisse aus Stakeholderbefragungen, Diskussionen im Rahmen des Stakeholderworkshops, Literaturrecherche sowie eigene Überlegungen.

POTENTIALE	LÖSUNGSANSÄTZE: wie können diese nutzbar gemacht werden?	FORSCHUNGSBEDARF
Biologie/Ökologie		
Vorteilhafte hydrografische Bedingungen (genügend Wasseraustausch, gute Wasserqualität), weniger negative Umweltauswirkungen als küstennahe AQ		
Theoretisch ließe sich fischereilicher Druck (speziell Saatmuschelfischerei auf natürlichen Bänken) durch AQ reduzieren		
Algen könnten am vielversprechendsten sein – keine so hohen biologischen Anforderungen wie Fisch & Muscheln		
Wolfsbarsch interessante Option, evtl. saisonaler Wechsel von Fischarten	Prototyp: Fischart aussuchen und testen	
Neue Arten (z.B. Meeräsche, Hummer), neues Artenspektrum durch Klimawandel, Züchtung & Domestizierung, Genetik & Kreuzung		
Wirtschaftlichkeit & Betrieb		
Stärkung des Wirtschaftssektors, competitive edge		
Marketingpluspunkt: nachhaltige + regionale Produkte, evtl. zertifiziert (Nachhaltigkeit, Transparenz, Rückverfolgbarkeit sind Schlüsselbegriffe)	Zertifizierung (z.B. ASC) Optimale Vermarktungsstrategie	
Nachfrage nach Fisch wird weiter wachsen und Wildfänge werden mittel- bis langfristig sinken. Bisher nimmt Dtl an Trend noch nicht teil	Eigene, lokale Produktion aufbauen, um von steigendem Preisniveau zu profitieren	
Regionalwirtschaftlicher Vorteil, Frischfisch anzulanden und vor Ort zu verarbeiten		
Hochwertige Produkte können gezüchtet werden, die als Wildfang selten zu bekommen sind (weißfleischig, ohne Gräten, hochpreisige Delikatessen)		Welche hochpreisigen Kandidaten eignen sich?
Zucht von Saatmuscheln, die auf natürlichen Bänken rar werden		
Algen evtl. am wirtschaftlichsten: relativ hochpreisig, niedrige biol. Ansprüche		
Algen, Muscheln: wieviel ist die Filterleistung wert? Könnte man sich hierfür Zertifikate gutschreiben lassen?		
By-products nutzen (z.B. Wolffisch) – Proteine extrahieren		Bioengineering
Kostenreduzierungen durch Co-nutzungen (Transport, Installation etc.), positive Preisentwicklungen (z.B. sinkende Futterpreise)		
Sozioökonomie		
Fischer (auch Muschelfischer) sind auf der Suche nach Alternativen, sowohl im Nutzungsraum als auch nach Verfügbarkeit von Saatmuscheln, weil Fanggebiete verloren gehen und natürliche Verfügbarkeit nach Saatmuscheln nicht mehr gegeben ist	Saatmuscheln kultivieren Öffentlichkeitsarbeit, Fischer beteiligen und informieren	
Alternative Einkommensquelle für Fischer, zusätzliche Einkommensquellen entlang der Wertschöpfungskette: landbasierte Verarbeitungsindustrie, Fischfutterindustrie, Käfigmanufaktur, Wartung, Logistik und Transport		
Evtl. könnte man junge Fischer für die AQ gewinnen (flexibler und aufgeschlossener)		

Ander e Nutzun gsfor men	Passive Fischerei: weniger (finanzieller) Aufwand, leichter zu handhaben, keine Fütterung nötig		Nachhaltige / passive Fischerei in Windparks
	Tourismus: Fischer könnten Kutter anbieten, um Touristen zum Windpark rauszufahren		
	Windpark als Messstation nutzen für Windgeschwindigkeiten, Wellenhöhen, zur Überwachung von Schiffsverkehr, Radarerfassung		
Rechtliche Rahmenbedingungen & Zulassungsverfahren			
	Umfassendes rechtliches Rahmenwerk (auf nationaler & EG Ebene) für AQ & Windkraft		
	Novellierung des WHG, Umsetzung der MSRL: klare Richtlinien für Gewässerqualität und guter Umweltzustand der Meeresumwelt = Planungssicherheit		
	SeeAnIV bietet klar strukturiertes Genehmigungsverfahren	Anpassung des aktuellen Verfahrens an Anforderungen für Marikultur (Erarbeitung von Vorgaben, StUK, site selection criteria)	
	Raumordnungsplan für AWZ bietet Instrument für Abwägung von Interessen und Identifizierung von Vorranggebieten	Definition von site selection Kriterien	
	Fachpolitik für Fischerei + AQ würde helfen, die Interessen in der Raumplanung besser zu berücksichtigen		
Technik			
	Multi-Use: Mitnutzung erlaubt Abtretung der Wartungs- und Reinigungsarbeiten an die Fischer	Kooperation mit Fischern, Geplante Wartungstermine mit Multi-Purpose-Vessel – optimalen Schnittpunkt ermitteln	Schnittstellenforschung Versicherung, Betreiber / Eigentum, Schiffstyp, Fütterung, Überstieg/Anlegen
	Tension Leg Systeme für freistehende Systeme	Schraubpfähle für rammfreie Installation	Zyklisches Lastverhalten
	Antifouling	Technologieentwicklung zur Beseitigung von Bewuchs	Korrosionsschutzsysteme
Hydra ulik	Erstellung von Kalibrierdatensätzen für bestehende Lastmodelle		

	HEMNMISSE	LÖSUNGSANSÄTZE: wie kann man diesen begegnen/entgegenwirken?	FORSCHUNGSBEDARF
Biologie/Ökologie			
Fisch	Auswahl an geeigneten Kandidaten sehr begrenzt durch hohe Temperaturen, dadurch auch erhöhtes Infektionsrisiko, hohe Wellen und damit einhergehende Druckveränderungen	Neue Kultivierungsmethoden und -technologien	Neue Kultivierungsmethoden und -technologien
	Unsicherheiten: Haben Lärm, Vibration und Schattenwurf negativen Einfluss auf Fische? Welche Auswirkungen hat Korrosionsschutz (Elektromagnetisches Feld oder Opferanode)? Biofouling?	Prototyp testen	
	Woher kommt der Käfigbesatz (Wildfang)?		Hatchery culture technologies
	Belastung der Meeresumwelt (auch kumulative Effekte) (allgemein)	<ul style="list-style-type: none"> Gesetzliche Auflagen, z.B für UVS, programmatische regionale UVS, Umweltmonitoring Anreize schaffen für Selbstregulierung: z.B Zertifizierung (z.B. ASC), Codes of Practice Kriterien für Standortauswahl festlegen Carrying capacity bestimmen, Nährstoffbilanzierung 	

	Nährstoffeinträge, Schadstoffeinträge	Fütterungstechniken mit optimaler Futtermittelverwertung; verantwortungsvoller Umgang mit Antifoulingemitteln, Antibiotika	Automatisierte, optimierte Fütterungstechniken Nährstoffbilanzierung
	Risiko von Fischflucht	Keine gebietsfremden Arten, keine genetisch manipulierten Arten	
	Wildfänge für Fischmehl		Alternative Futtermittel
	Ethische Fragen: generell Massentierhaltung		
	Wie kann man Zucht vor toxischen Algenblüten schützen?		
	Welche Qualität haben Muscheln/Algen/Fische?		
Muscheln	Genügend verfügbare Muschellarven in der Wassersäule? Zu wenig Nahrung in Wassersäule?		
Wirtschaftlichkeit & Betrieb			
	Investitionsrisiko: Hohe Investitionskosten, hohes wirtschaftliches Risiko durch exponierte Lage, Risiko von Naturkatastrophen (Stürme), kaum Erfahrung zu Betrieb von Anlage, Schwierigkeit die Risiken abzusichern. Einzelne Fischer und kleinere Betriebe werden Risiken nicht eingehen wollen. Den einzelnen Fischern fehlen finanzielle Kapazitäten für Investition in Käfig und Ausstattung (derzeitige Geräte und Schiffe sind nicht kompatibel)	Langfristige Vergabe von Leasinglizenzen/Pachtverträge Investitionsförderprogramm für Fischer Investition durch Genossenschaften	
	Hohe Betriebskosten , hoher Aufwand für Logistik Risiken des Betriebs: Wie entwickeln sich Preise (für Fisch, Energie, Kapital, Personal)? Niedriges Preisniveau in Dtl.- lassen sich hochpreisige Produkte absetzen? Ist Weltmarkt bereit das Angebot aufzunehmen (Volumen, Konkurrenz, Bedarfe)? Nachfrage nach Frischfisch in Dtl. nicht besonders hoch Economies of scale: welche Mengen müssen produziert werden, und ist das dann nur für Großinvestoren möglich? Sind so große Mengen noch ökologisch verträglich?	<ul style="list-style-type: none"> • In's Ausland exportieren (Spanien, Frankreich) wo sich für Frischfisch bessere Preise erzielen lassen • Auf Nischenmarkt (Gastronomie) abzielen • Versetzte Erntezeitpunkte nutzen • Langjährige Beobachtung der Preisentwicklung • Alleinstellungsmerkmal definieren • Sind andere Länder/Regionen sinnvoller (bessere Wachstumsbedingungen)? • Gibt es profitablere Optionen (nicht offshore, nicht in Verbindung mit Windkraft)? 	
	Macht es gesamtwirtschaftlich Sinn (Opportunitätskosten)?		
	Unterstützende landbasierte Infrastruktur (Verarbeitung, Verpackung & Logistik etc.) wird benötigt – hohe Grundstückpreise an der Küste		
Sozioökonomie			
	Know-how fehlt bei heimischen Fischern	<ul style="list-style-type: none"> • Akzeptanz bei Muschelfischern erhöhen, da diese bereits einige Erfahrung mit Muschelzucht haben • Junge Fischer für Umschulung/Weiterbildung gewinnen • Betrieb durch ausländische Firmen 	Betrieb der Anlage: wer ist Zielgruppe (z.B. junge Fischer, ländliche Bevölkerung)? Wie kann man diese fördern, Anreize setzen? Welches Know-How braucht man, und wer kann das machen?
	Heimische Küstenfischer verfügen nicht über adäquate Ausstattung, ihre Schiffe haben keine Genehmigung um weiter rauszufahren als 35nm (nicht tauglich für „kleine		

	Hochsee“), ihre Ausbildung ist nicht ausreichend – es müsste eine Reihe von Investitionen getätigt werden		
	Einige lautstarke Gegner der Co-nutzungs-idee verbreiten negative Schlagzeilen	Öffentlichkeitsarbeit	
	Niedrige Akzeptanz bei Fischern, und relativ wenig Interesse, da sie von der Einschränkung der Fanggebiete eher nicht betroffen sind (zumindest nicht die Küstenfischer, eher noch die Schollenfischerei)	Beteiligung, Verantwortung übertragen (nicht bloß informieren), Netzwerke und Informationsplattformen nutzen „nicht lange reden – zeigen!“	
	Möglicherweise profitieren nur (ausländische) Großinvestoren, die über nötiges Kapital & Know-how verfügen	Umschulungsangebote und Förderprogramme, finanzielle Anreize für heimische Fischerei schaffen	
	Vermutlich wird es sich um stark automatisierte Industrie handeln – evtl. nur minimale lokale Einkommenseffekte		
	Sorge bei Fischerei, dass AQ das Preisniveau von Fisch negativ beeinflusst		
Nut- zungs- kon- flikte	Fischereiliche Interessen vs. Sicherheitsinteressen der Windparkbetreiber	Co-management fördern Arbeitstreffen organisieren zw. Windparkbetreibern & Fischerei Heimische Fischer in Bau + Betrieb einspannen, z.B. als Wachschiffe für Baumaßnahmen und Kabelverlegungsmaßnahmen engagieren	
	Fischerei vs AQ: Fischer könnten Sorge haben, dass die AQ ihnen Preise kaputt macht, oder Fisch aus AQ bevorzugt wird		
	Windpark als „Schutzgebiet“/Erholungsgebiet für Fischbestände vs. zusätzliche Nutzung durch AQ		Auswirkungen der Windparks und der AQ auf Fischbestände
Rechtliche Rahmenbedingungen & Zulassungsverfahren			
	Rechtliche Unsicherheiten: es besteht Regelungs-/Klärungsbedarf, z.B. im Bereich Eigentumsrechte → ist zwingende Mehrfachnutzung eigentumsrechtlich möglich? Können AQ-Betreiber Flächen von den WEA-Betreibern leasen?; Versagungsgründe gemäß SeeAnIV → wie lässt sich aus rechtlicher Sicht Gefährdung der Meeresumwelt / Abträglichkeit von AQ definieren?; welche Regularien sind in AWZ anwendbar (z.B. Fischseuchenverordnung)? Wie kann „Offshore“ aus rechtlicher Sicht definiert werden? Seefischerei ↔ Seeanlagenverordnung: AQ fällt unter welche Verordnung?	Definitionen und Kriterien (Umweltstandards, Kriterien für Eignungsflächen) erarbeiten	Standarduntersuchungskonzept (StUK) für marine AQ erarbeiten Untersuchen, welche Leitungsfunktion die Kriterien für Eignungsflächen bei der Genehmigung von Offshore-WEA haben
	Wie will man kontrollieren, dass nur kleine Fahrzeuge in den Windpark fahren?	Befahrensverbot muss einheitlich geregelt werden, regelmäßige Kontrollen	
	Keine spezifische Gesetzgebung für multiple Nutzung und Offshore-Marikultur	Gesetz z.B. nach dem Vorbild des U.S. National Sustainable Offshore AQ Act of 2009? Umweltstandards definieren	Standarduntersuchungskonzept (StUK) für marine AQ erarbeiten
Technik			
	Werden Wartung und Betrieb der WEA beeinträchtigt?		
	Erstmal „hauseigene“ Probleme der WEA in den Griff bekommen, bevor zusätzlich etwas installiert wird; noch besteht wenig Erfahrung mit Betrieb der Anlage	Technische Lösungen suchen, die nicht mit Fundament in Kontakt kommen (Tension Leg Systeme, Schraubpfähle für rammfreie Installation).	
	Sind Anlagen unter rauen Bedingungen (Strömung, Seegang, Wind) handhabbar?		
	Auswirkungen des Hydroschalles aus Anlagenbetrieb für die AQ	Messungen, z.B. Alpha Ventus	Übertragung der Ergebnisse aus AQ
	Minimierung von Sicherheitsrisiken (Kollisionen, Beschädigung der WEA)	Fischer/AQ-betreiber sensibilisieren für Risiken + Verbote (keine Anker werfen etc)	

		Erkenntnisse der Fischerei nutzen	
	Lastansätze	Versuche / Prototyp	Zertifizierung Lastmodelle für Käfige Messungen
	Wirtschaftlichkeit: Wie wird Tragstruktur verteuert? Wieviel muss man in verstärkten Tripile einplanen?		Zusätzliche Kosten berechnen
	Design z.Zt. nur für das von Bard hergestellte Tripile – was ist wenn Bard Produktion einstellt?	Mögliche Konstruktionen auch für andere Typen von Fundamenten entwickeln	
	Zusätzliche Auskolkungen		
Hy- drau- lik	Vergrößerung der Aufzuchtkäfige innerhalb der Struktur schwer möglich (starke Verkleinerung 1:40 – 20% Unsicherheit)	Versuche in größerem Maßstab wünschenswert - hydraulische Untersuchungen in 3D-Wellenbecken mit Naturseegang	
	Maßstabeffekte/Idealisierung	Vertiefte Analyse der Käfig-Struktur-Interaktion in größerem Maßstab	

Abschlussbericht

des Workshops

„Fischzucht in Offshore-Windparks“

vom 7. September 2011 am Institut für Marine Ressourcen GmbH (IMARE) in Bremerhaven.

Der Stakeholder-Workshop zu dem Thema „Fischzucht in Offshore-Windparks“ fand am 7. September 2011 am Institut für Marine Ressourcen (IMARE) GmbH in Bremerhaven statt. Es nahmen rund 40 Teilnehmer aus der Wirtschaft (Fischerei, Fischverarbeitungsindustrie, Windkraft, Wirtschaftsförderung), von Behörden und Interessensverbänden (Umweltschutzverbände, Wirtschaftsverbände) und aus der Forschung teil. Eine Teilnehmerliste ist im Anhang I beigefügt. Ziel des Workshops war es, über das Projekt zu informieren und dessen mögliche zukünftige Ausgestaltung auf Grundlage einer breit angelegten Zusammenarbeit mit kontinuierlichem Informationsaustausch voranzutreiben.

Um dieses zu erreichen,

- wurde allen Teilnehmern anhand einiger Vorträge ein ausreichender Informations- und Diskussionshintergrund bereitgestellt,
- konnten durch eine rege Diskussion unterschiedliche Sichtweisen zu diesem Thema dargelegt und Interessen gebündelt werden,
- wurden gemeinsam mit den Akteuren die wesentlichen Potentiale und Hemmnisse für die kombinierte Nutzung von Windparks und Fischeaquakultur zusammengetragen, und
- wurden mögliche Formen einer zukünftigen Zusammenarbeit besprochen.

Folgende hieraus resultierende Schlüsselfragen sollten beantwortet werden:

- Welche neuen Erkenntnisse hat das Projekt „Open Ocean Multi-Use“ gebracht hinsichtlich einer kombinierten Nutzung von Fischeaquakultur und Offshore-Windenergie ?
- Welche Potentiale und Hemmnisse einer Co-Nutzung bestehen aus Sicht der relevanten Akteure (Wirtschaft, Forschung, Behörden, Interessensverbände)?
- Wo besteht weiterer Forschungsbedarf?

Vorbereitet und durchgeführt wurde die Veranstaltung vom Institut für Marine Ressourcen (IMARE) GmbH.

Tagesordnung

10:00	Anreise und Kaffeerrunde
10:15	Begrüßung und thematische Einleitung – <i>B. H. Buck (Alfred Wegener Institut)</i>
10:30-10:50	Vortrag: „Akzeptanz und Co-management von multipler Meeresraumnutzung – Ergebnisse einer sozioökonomischen Studie“ - <i>L. Wever (IMARE)</i>
10:50-11:10	Vortrag: "Auswahl geeigneter Kandidaten für Offshore-Aquakultur in der Nordsee anhand biologischer Gesichtspunkte“ - <i>J. Schmidt (IMARE)</i>
11:10-11:30	Vortrag: "Hydraulische Modellversuche zur Untersuchung von Belastung an OWEA-Gründungen infolge von Fischaufzuchtkäfigen" - <i>N. Goseberg (Franzius Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen, Leibniz Universität Hannover)</i>
11:30-11:50	Vortrag: „Ökonomische Analyse aquakultureller Nutzung von Offshore Windpark Arealen“ - <i>M. W. Ebeling (vTI Institut für Seefischerei)</i>
11:50-12:30	Diskussion
12:30-13:30	Mittagspause
13:30-13:50	Vortrag: „Fischkäfige für Offshore-Aquakulturen in der Nordsee - Lastsimulation und Design“ - <i>J. Dubois (Institut für Stahlbau, Leibniz Universität Hannover)</i>
13:50-14:30	Diskussion in Arbeitsgruppen zu den Themen Biologie, Technik, Wirtschaftlichkeit und Sozioökonomie: Identifizierung von Potentialen und Hemmnissen
14:45-15:30	Wie geht es weiter? – Identifizierung von zukünftigen Forschungsschwerpunkten und Möglichkeiten der Zusammenarbeit
15:30	Abschlussworte

Teil 1: Vorträge

In diesem Block wurden die Projektergebnisse des seit Mitte 2010 vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) geförderten Projekts „Open Ocean Multi-Use“ präsentiert. Die Arbeitsgruppen Sozioökonomie, Biologie, Wirtschaftlichkeit und Technik stellten hierzu ihre Ergebnisse vor.

Vortrag 1: „Akzeptanz und Co-management von multipler Meeresraumnutzung – Ergebnisse einer sozioökonomischen Studie“ (L. Wever)

Dieser Vortrag stellte zum einen einige wesentliche rechtliche und managementrelevante Rahmenbedingungen und aktuelle Änderungen der Gesetzgebung für eine Co-Nutzung von Aquakultur und Offshore-Windenergie vor. Insbesondere das Genehmigungsverfahren für Seeanlagen in der Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) und dessen Relevanz für eine Zulassung von marinen Aquakulturanlagen wurde diskutiert. Zudem wurden die Ergebnisse einer Stakeholderanalyse vorgestellt, mit Hilfe derer die Einstellungen und Wahrnehmungen der relevanten Akteure identifiziert werden sollten. Einige wesentliche Potentiale und Hemmnisse für eine Co-Nutzung aus Sicht der Akteure wurden vorgestellt.

Diskussion

Vom BfN wurde die Frage aufgeworfen, ob eine multiple Nutzung des Meeresraumes (in Form einer Kombination von Windkraft und Aquakultur) tatsächlich politisch gewollt wäre. Zudem gäbe es bereits jetzt eine Vielzahl von Nutzungen in der AWZ und so könne man bereits jetzt von multiplen Nutzungen sprechen. Hierzu gab es eine Reihe von Kommentaren, die darauf hinwiesen, dass sowohl auf EU-Ebene (z.B. die durch Teilnehmer vertretenen Projekte „Submariner – Sustainable Uses of Baltic Marine Resources“ <http://www.submariner-project.eu/> und „Coexist – Interaction in Coastal Waters“ <http://www.coexistproject.eu/>) als auch auf nationaler Ebene (durch das BMU und das BMELV) derzeit eine Vielzahl von Projekten zu dem Thema gefördert würden, bzw. zu solchen

aufgerufen würde (z.B. das Innovationsprogramm vom BMELV), insofern könne man durchaus davon ausgehen, dass eine multiple Nutzung politisch gewollt sei.

Zum anderen wurde der Nutzungskonflikt Aquakultur-Umweltschutz angesprochen. Das BfN zeigte sich besorgt, dass die aus Sicht des Umweltschutzes positiven Aspekte der Windparks (Sperrung für Fischerei, dadurch Erholung des Bodens und Beruhigung des Seeverkehrs) durch eine zusätzliche Nutzung in Form der Aquakultur gefährdet wären. Hierzu gab es wiederum eine Reihe von Kommentaren, dass die Aquakultur nicht zwangsläufig negative Umweltauswirkungen mit sich brächte, wenn angemessene Methoden genutzt würden. Mitunter gäbe es sogar positive Effekte auf die Meeresumwelt. Zudem könne eine ökologisch nachhaltige Form der Aquakultur als Chance gesehen werden, dass sich die durch die destruktive Fischerei der vergangenen Jahrhunderte stark belastete Meeresumwelt erhole und könne somit zu einer „Wiederbelebung des Meeres“ beitragen.

Vortrag 2: „Auswahl geeigneter Kandidaten für Offshore-Aquakultur in der Nordsee anhand biologischer Gesichtspunkte“ (J. Schmidt)

Ergebnisse zu der Auswahl der Kandidaten (in Abhängigkeit von abiotischen und biotischen Bedingungen, Vermeidung von Faunenverfälschung, Erfahrung im AQ-Bereich, Fütterung und FCR) sowie über die erforderlichen Technologien für diese Kandidaten wurden vorgestellt. Neben Fischen als Zuchtkandidaten wurden auch Makroalgen und Filtrierer als potentielle Kandidaten im Rahmen eines IMTA- (Integrierte Multi-Trophische Aquakultur) Ansatzes diskutiert. Es wurde auf die Vielzahl von Unsicherheiten in Bezug auf die Offshore-Bedingungen und deren Einflüsse auf die Kandidaten hingewiesen (hohe Temperaturen, hohe Wellen und damit einhergehende Druckveränderungen, Lärm, Vibration, Schattenwurf, elektromagnetische Felder, Korrosionsschutz, Fouling). Gleichzeitig wurde auf die vorteilhaften hydrografischen Bedingungen und sich daraus ableitenden ökologischen Vorteile hingewiesen. Abschließend wurde die Frage aufgeworfen, ob sich zukünftig das Artenspektrum der zur Verfügung stehenden Kandidaten erweitern ließe, z.B. durch neue Arten und Zuchtmethoden, Züchtung/Domestizierung, Genetik und Kreuzung, und durch klimabedingte Verschiebungen des Artenspektrums.

Diskussion

Die Auswahl der Kandidaten wurde kritisch diskutiert. Es wurde darauf hingewiesen, dass in dem Vortrag zum einen betont wurde, man beschränke sich auf heimische Arten, zum anderen aber die Möglichkeit eines erweiterten Artenspektrums durch Züchtung/Domestizierung, Genetik und Kreuzung erwähnt wurde. Dazu wurde festgehalten, dass man sich bei der Erforschung geeigneter Kandidaten auch in Zukunft ausschließlich auf heimische Arten beschränke.

Zum anderen wurde von Seiten des BfN die Aussage in Frage gestellt, die vorgestellte Form der Aquakultur habe u.a. aufgrund der positiven hydrografischen Bedingungen (Wasseraustausch) kaum negative Auswirkungen auf die Meeresumwelt. Es wurde darauf hingewiesen, dass es zumindest lokal zu Eutrophierung und Auswirkungen auf den Meeresboden kommen könne. Zudem sei es widersprüchlich, auf der einen Seite zu behaupten, der zusätzliche Eintrag von Nährstoffen sei minimal, zum anderen aber auf die Möglichkeit der Polykultur hinzuweisen, die ja nur dann funktioniere, wenn den Filtrieren genügend zusätzliche Nährstoffe in der Wassersäule zur Verfügung stünden. Die Menge des Wasseraustausches in der Nordsee sei zudem relativ zu sehen: im Vergleich zu beispielsweise norwegischen Fjorden seien die Verhältnisse in der Nordsee vorteilhafter, im Vergleich zu anderen Meeren sei die relativ flache und geschützte Nordsee dagegen benachteiligt.

Zuletzt wurde die Frage diskutiert, ob es aus ethischer Sicht zulässig sei, in anderen Ländern andere Umweltstandards für die Aquakultur zu setzen als in heimischen Gewässern. Zum einen wurde darauf hingewiesen, dass es sich bei den derzeitigen Untersuchungen lediglich um die Erforschung von Möglichkeiten handle und dass die Umsetzung dann von Land zu Land verschieden sein könne. Manche Länder (z.B. China) könnten sich nicht die grundsätzliche Frage stellen, ob Aquakultur wünschenswert ist oder nicht, sondern nur in welcher Form sie stattfindet. Eine Erforschung von vergleichsweise ökologisch verträglicheren Formen der Aquakultur könnte in diesen Ländern

durchaus einen positiven Effekt haben, selbst wenn sich andere Länder wie Deutschland dagegen entscheiden sollten. Dem wurde entgegnet, dass wir nicht in anderen Ländern gutheißen können, was wir zuhause nicht machen wollen. Von anderer Seite wurde angemerkt, dass die hiesige Nachfrage nach Seafood-Produkten im Vergleich zu anderen Ländern marginal sei, und dass sich die Zucht daher auf hochwertige Produkte spezialisieren solle; unter diesen Umständen seien Volumen und somit auch zu erwartende Umweltauswirkungen als minimal einzustufen.

Vortrag 3: „Hydraulische Modellversuche zur Untersuchung von Belastung an OWEA-Gründungen infolge von Fischaufzuchtkäfigen“ (N. Goseberg)

Die zusätzlichen Einwirkungen, die durch die multiple Nutzung von Windenergieanlagen entstehen könnten, standen im Fokus der hydraulischen Modellversuche am Franzius-Institut. Die Wechselwirkungen zwischen Käfigkonstruktionen und Windkraft-Tragstrukturen wurden in enger Zusammenarbeit mit den im Projekt eingebundenen Verbundpartnern aus Industrie und Forschung untersucht. In Vorversuchen wurden zunächst die möglichen Maßstabeffekte bei der Verkleinerung von Fischaufzuchtanlagen im Modell untersucht, bevor in einem zweiten Schritt unterschiedliche neuartige Aufzuchtanlagen im Wellenkanal hinsichtlich der veränderten Strömungsgeschwindigkeiten und Belastungen auf die Struktur getestet werden sollten. Ein weiterer Aspekt waren die Untersuchungen von möglichen Kolken.

Als Potential wurde die Erstellung von Kalibrierdatensätzen für bestehende Lastmodelle genannt. Hemmnisse aus diesem Forschungsbereich stellen Maßstabeffekte/Idealisierung dar, welche eine vertiefte Analyse der Käfig-Struktur-Interaktion in größerem Maßstab erfordern; spezielle hydraulische Untersuchungen in 3D-Wellenbecken mit Naturseegang wurden empfohlen.

Diskussion

Es wurde hinterfragt, inwieweit Aufwuchs in der Simulation berücksichtigt wurde, da dieser die Angriffsfläche der Wellen im Vergleich zu fabrikneuen Materialien teilweise verdoppeln oder verdreifachen könnte. Hierzu wurde geantwortet, dass Aufwuchs zwar berücksichtigt worden sei, es aber schwierig sei, dies realitätsnah abzuschätzen, da die Werte auch davon abhingen, wie regelmäßig die Materialien gesäubert würden. Zudem wurde nach einer Abschätzung der Größenordnung dieser zusätzlichen Belastung gefragt und die Frage aufgeworfen, ob sich die Anlage durch den Germanischen Lloyd zertifizieren lasse. Die Daten zu den Belastungsmessungen können erst nach Abschluss des Projekts veröffentlicht werden. In einem nächsten Schritt werden die Ergebnisse intern bei Bard Engineering von Ingenieuren überprüft, um dann zu einer Einschätzung zu kommen, ob und inwieweit die Stabilität und Sicherheit des Fundaments beeinträchtigt würde. Außerdem wurde auf die Option hingewiesen, Käfigkonstruktionen ohne Anbindung an das Fundament zu entwerfen, die auf den Meeresboden abgesenkt und dort befestigt sein könnten. Auch in diese Richtung soll zukünftig weiter geforscht werden.

Vortrag 4: „Ökonomische Analyse aquakultureller Nutzung von Offshore Windpark Arealen“ (M. Ebeling)

Für die von biologischer Seite her vorgeschlagenen Kandidaten wurden in diesem Vortrag die marktwirtschaftlichen Potentiale vorgestellt. Dabei wurden Kostendaten, Erlösdaten, Marktanalysen und Projektionen berücksichtigt. Mit Hilfe einer Reihe von Instrumenten (Budgetanalyse, Investitionsrechnungen, Sensitivitätsanalysen, Potentialanalysen) wurde somit die Umsetzung einer Fischzucht in Offshore Windparks ökonomisch beurteilt. Zusätzlich zu den schwerpunktmäßigen Untersuchungen zur Fischzucht wurden auch einige Ergebnisse zur Wirtschaftlichkeit von Muscheln- und Algenzucht vorgestellt. Grundsätzlich wurde das Fazit gezogen, dass Muscheln und Makroalgen aus ökonomischer Sicht vielversprechender sind; bei der Fischzucht variieren die Ergebnisse je nach Kandidat und sind zudem stark von dem Unsicherheitsfaktor der zu Grunde gelegten Preisen abhängig, die dafür auf dem Markt erzielt werden können. Als Potentiale wurden u.a. Möglichkeiten der Stückkostenreduzierung vorgestellt, sowie Möglichkeiten der Nutzung von By-products. Als Herausforderungen wurden u.a. die weltweite Entwicklung von Angebot und Nachfrage und die

damit verbundenen Preisschwankungen genannt, sowie aus Investorensicht das Risiko, in eine technologische Innovation zu investieren, die mit vielen Unwägbarkeiten belastet ist. Die Entwicklung eines Prototyps wurde daher als notwendig erachtet, um die wirtschaftlichen Risiken besser abschätzen zu können.

Diskussion

Die zugrunde gelegten Absatzpreise für Muscheln und Fisch (speziell Wolfsbarsch) wurden kritisch diskutiert und teilweise als zu hoch angesetzt bewertet. Es wurde auf die Preisunterschiede zwischen Konsumpreisen und Absatzpreisen für andere Nutzungen hingewiesen. Für die erzielbaren Preise sei wiederum die Qualität der gezüchteten Kandidaten ausschlaggebend. Für eine wirtschaftlich fundierte Berechnung müsse daher zunächst geklärt werden, welche Kandidaten in welcher Qualität gezüchtet werden sollen. Es wurde auf die Chance hingewiesen, sich auf dem Weltmarkt mit qualitativ hochwertigen Produkten aus ökologischer Produktion zu positionieren. Auch wurde die Frage aufgeworfen, welche Produktionsmengen mit einer ausgeglichenen Nährstoffbilanz vereinbar wären; hier besteht Forschungsbedarf. Es wurde auf eine Reihe von technischen Möglichkeiten zur Reduzierung von Abfällen und somit Nährstoffeinträgen (z.B. abzusenkende Käfige, Filtriertechnik, Absaugen von Abfällen unter Käfigen) hingewiesen. Andere noch offene Fragen betrafen Kosten-Nutzen-Rechnungen, sowie eine Berechnung der Mehrkosten auf Seiten des WEA-Betreibers.

Vortrag 5 „Fischkäfige für Offshore-Aquakulturen in der Nordsee - Lastsimulation und Design“ (J. Dubois)

Die praktisch verwendeten Simulationsmethoden von aufgelösten Offshore-Tragstrukturen sind für Strukturgeometrien gültig, die von rahmenartigen, mit Netzen bespannten Fischkäfigen typischerweise nicht mehr ohne Zusatzüberlegungen angewendet werden können. Im Rahmen der Untersuchungen innerhalb des OOMU-Projektes wurden die Lastansätze anhand der Ergebnisse der durchgeführten Modellversuche und mit Hilfe von Literaturangaben auf die Fischkäfig-Konstruktionen ingenieurmäßig erweitert. Ziel war ein Fischkäfig-Design mit einer Lebensdauer zwischen 10 und 20 Jahren zu entwerfen. Im Vortrag wurden die Vor- und Nachteile der verschiedenen Konstruktionsvarianten der Fischkäfige für die Nordsee vorgestellt und die Herausforderungen während der Lastsimulationen und des Designs hervorgehoben.

Diskussion

Es wurden technische Details der Käfigkonstruktion hinterfragt, beispielsweise wie das Rohr zum Ein- und Ausspülen der Fische funktioniere, und welche technischen Möglichkeiten zur Reinigung des Käfigs verfügbar wären. Grundsätzlich wurden beide vorgestellten Käfigkonstruktionen aus Sicht des Vortragenden als technisch möglich erachtet; in einem nächsten Schritt müssten die Ingenieure des Windenergieanlagenbauers (Bard Engineering) die Käfige auf Kompatibilität mit dem WEA-Fundament überprüfen. Konkrete Daten zu den entworfenen Käfigen können erst nach Projektende veröffentlicht werden.

Teil 2: Thematische Diskussionen

In diesem Block wurden thematische Diskussionen zu folgenden Themen angeboten: 1) Biologie, 2) Technologie, 3) Wirtschaftlichkeit, 4) Sozioökonomie und rechtliche Rahmenbedingungen. Die Teilnehmer konnten sich den Arbeitsgruppen zuordnen und es wurde für jede Arbeitsgruppe ein Rapporteur bestimmt. Anlage II fasst Ergebnisse der thematischen Diskussionen zusammen.

Teil 3: Abschlussrunde

Im letzten Block wurden die Ergebnisse der thematischen Arbeitsgruppen in großer Runde vorgestellt und mögliche Schwerpunkte für zukünftige Forschungsvorhaben identifiziert. Hierzu wurden mögliche Folgeprojekte aufgezeigt und konkrete Möglichkeiten der Zusammenarbeit besprochen:

- OOMU-Anschlussvorhaben: es besteht die Möglichkeit, beim BMU ein an das Open Ocean Multi-Use Projekt anschließendes Folgeprojekt zu beantragen. Mögliche Schwerpunkte könnten sein: 1) kleinskalige Umsetzung im Feld, 2) Einfluss auf das umliegende Ökosystem.
- ein Projektantrag mit dem Schwerpunkt „Site Selection“ ist in Planung (einzureichen beim BMELV). Hierbei sollen rechtliche Fragen (StUK, SeeAnIV), Auswahl geeigneter Flächen, und Nährstoffbilanzierung im Labor/Feld untersucht werden.
- Eventuell besteht die Möglichkeit, beim BMWI im Bereich Meerestechnik einen Projektantrag einzureichen. Mögliche Inhalte: Bau eines realen Käfigs, Koppelungsstrategien, Futterautomatik.
- Auf EU Ebene befasst sich der aktuelle Call „The ocean of tomorrow“ des FP7-OCEAN-2011 unter anderem mit multi-use offshore platforms mit speziellem Fokus auf der Integration von Offshore Windenergie, Aquakultur und anderen maritimen Dienstleistungen. Das IMARE hat einen Projektantrag eingereicht.
- Im Rahmen der internationalen Konferenz „Marine Resources and Beyond 2011“ haben Teilnehmer eine Initiative gestartet, die „Bremerhaven Declaration“ ins Leben zu rufen, welche die weltweite wissenschaftliche Kooperation im Forschungsbereich Marikultur vorantreiben soll.

Abschließend wurde darauf hingewiesen, dass sich Teilnehmer gerne an zukünftigen Projekten beteiligen können und sich bei Interesse mit dem Projektleiter bzw. dem IMARE in Kontakt setzen.

Workshop-Anhang II: Teilnehmerliste des Workshops „Fischzucht in Offshore-Windparks“ am 7.9.2011 am Institut für Marine Ressourcen GmbH

Nachname	Vorname	Institution
Barnewold	Volker	PNE Wind AG
Berkenhagen	Jörg	vTI - Institut für Seefischerei
Blasche	Kristin	Bundesanstalt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)
Buck	Bela	Institut für Marine Ressourcen (IMARE) GmbH
Christensen	Pia Bro	Green Center, Algae Innovation Center Lolland (SUBMARINER Project)
Clausen	Peter	Institut für Meeres- und Gewässerforschung e.V.
Damian	Hans-Peter	Umweltbundesamt (UBA)
Dubois	Jan	Leibniz Universität Hannover- Institut für Stahlbau
Ebeling	Michael	vTI - Institut für Seefischerei
Goseberg	Nils	Franzius Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen
Hildebrandt	Silvia	Plataforma Oceanica de Canarias (PLOCAN)
Hundt	Matthias	Universität Koblenz – Landau
Huthsfeld	Horst	Kutterfisch GmbH
Janssen	Holger	Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW)
Kölling	Andreas	Pressesprecher BARD Holding GmbH
Krause	Gesche	Zentrum für Marine Tropenökologie (ZMT)
Krey	Thomas	Juristische Fakultät der Universität Rostock
Kumbartzky	Guido	BARD Engineering GmbH
Larws	Dagmar	Umweltbundesamt (UBA)
Lemcke	Roland	Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (LLUR)
Merck	Thomas	Bundesamt für Naturschutz (BfN)
Mühlbauer	Florian	Universität Rostock
Oberdörffer	Philipp	Landwirtschaftskammer Niedersachsen
Palm	Harry W.	Universität Rostock - Lehrstuhl für Aquakultur & Searanching
Pelzer	Margit	Supervision, Organisations- und Projektentwicklung
Pogoda	Bernadette	Universität Bremen
Posselt	Ursula	Bundeministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMELV)
Pusch	Christian	Bundesamt für Naturschutz (BfN)
Riechers-Kuhlmann	Barbara	Fischereihafen-Betriebsgesellschaft mbH
Ringeltaube	Petra	
Sahr	Jürgen	

Schadwinkel	Alina	DIE ZEIT
Schmidt	Jan	Institut für Marine Ressourcen (IMARE) GmbH
Schultz-Zehden	Angela	s. Pro GmbH, EU Projekt Submariner
Schulze	Torsten	vTI – Institut für Seefischerei, EU Projekt Coexist
Trautner	Jochen	vTI – Institut für Fischereiökologie
Vogt	Lothar	Senator für Wirtschaft und Häfen- Bereich Wirtschaft
Vollstedt	Bente	
Wever	Alexander	AWF Consulting
Wever	Lara	Institut für Marine Ressourcen (IMARE) GmbH

Workshop-Anhang II: Ergebnisse aus den Arbeitsgruppen: identifizierte Potentiale, Hemmnisse und Forschungsbedarfe

THEMA 1: BIOLOGIE UND ÖKOLOGIE

Rapporteur: Jan Schmidt

Als grundlegendes Hemmnis wurden die extremen Umweltbedingungen im Offshore-Bereich herausgestellt. Die starke Temperaturdifferenz und die starke Strömung führen dazu, dass auch ausgewählte Kandidaten nur eingeschränkt nutzbar wären, vor allem der Wolfsbarsch gilt dabei aber weiterhin als sehr vielversprechend. Als Lösung dieser Problematik wurden verschiedene „saisonale Modelle“ diskutiert, wobei z.B. nur das „Auswachsen“ auf Marktreife in den Käfigen über die Sommersaison hinweg stattfinden soll und eventuell Kaltwasserarten im Winter in die Käfige gesetzt werden oder die Käfige komplett eingeholt werden, um auch die extremen Stürme im Winter zu meiden.

Ungeklärte Fragen wurden vor allem beim Nährstoffeintrag sowie der Extraktion von Nährstoffen festgestellt. Es müssen in Zukunft unbedingt genauere Berechnungen angestellt werden, die auch die hydrographischen Faktoren in diesen Meeresgebieten berücksichtigen. Dabei sollten vor allem Effekte wie lokale Eutrophierung benthischer Bereiche sowie der Einfluss eines erhöhten Nährstoffeintrags auf die pelagische Fauna untersucht werden.

Weiterer Forschungsbedarf besteht noch beim Biofouling an den Netzen, da eine Wartung der Anlagen nicht so einfach ist wie bei Aquakulturen im Nearshore-Bereich. Auch die Auswirkungen des Lärms der Windkraftanlagen auf die Fische sind noch nicht endgültig erforscht.

Von Naturschutzseite wurde zu bedenken gegeben, dass bei der Aquakultur eine Interaktion zwischen freilebenden Fischen und Zuchtfischen nie völlig auszuschließen ist, sowohl im Bereich der Fortpflanzung wie auch bei der Übertragung von Krankheiten und Parasiten, sodass in diesem Bereich besondere Vorsicht gelten muss.

Abschließend wurde festgehalten, dass sich viele offene Fragen nur durch die Einbringung eines Prototyps klären können, da sie sich nur schwer berechnen und vorhersehen lassen und Vergleichsprojekte weltweit bisher nicht existieren.

THEMA 2: SOZIOÖKONOMIE UND RECHT

Rapporteur: Gesche Krause

Rechtliche Unsicherheiten wurden momentan als wesentliches Hemmnis identifiziert: es besteht Regelungs-/Klärungsbedarf, z.B. im Bereich Eigentumsrechte → ist zwingende Mehrfachnutzung eigentumsrechtlich möglich? Können AQ-Betreiber Flächen von den WEA-Betreibern leasen?; Versagungsgründe gemäß SeeAnIV → wie lässt sich aus rechtlicher Sicht Gefährdung der Meeresumwelt / Abträglichkeit von AQ definieren?; welche Regularien sind in AWZ anwendbar (z.B. Fischseuchenverordnung)? Wie kann „Offshore“ aus rechtlicher Sicht definiert werden? Seefischerei ↔ Seeanlagenverordnung: AQ fällt unter welche Verordnung?

Es wurde vorgeschlagen, ein Standarduntersuchungskonzept (StUK) für marine AQ zu erarbeiten, und in dem Zuge auch einige der angesprochenen rechtlichen Unsicherheiten zu adressieren. Allerdings wurde darauf hingewiesen, dass ein solches StUK erst dann Sinn macht, wenn das bauliche Konzept und die gezüchtete Art und deren biologische Anforderungen feststehen.

Außerdem wurde die Frage aufgeworfen, ob die Entwicklung von Kriterien für Eignungsflächen (site selection criteria) als zukünftiger Forschungsschwerpunkt Sinn macht. Hierzu wurde vorgeschlagen, dass man auch die Leitungswirkung solcher Kriterien für die Raumplanung und für die Genehmigung von Anlagen am Beispiel der Offshore-Windkraft untersuchen könnte. Außerdem wurde wiederum darauf hingewiesen, dass zunächst die gezüchtete Art und deren biologische Anforderungen feststehen sollten (als Prototyp).

Zuletzt wurde die Frage diskutiert, wer die Zielgruppe für den Betrieb einer Aquakulturanlage ist (z.B. junge Fischer, ländliche Bevölkerung) und wie man diese fördern könnte (Anreize setzen) und welches Know-How sie benötigen. Dies wurde als weiterer Forschungsbereich identifiziert.

THEMA 3: WIRTSCHAFTLICHKEIT UND BETRIEB

Rapporteur: Michael Ebeling

Die AG kam überein, dass eine Aquakultur sich letztendlich betriebswirtschaftlich rechnen müsse, auch wenn sie volkswirtschaftlich positive externe Effekte produziert (Nährstoffextraktion durch Muscheln und Makroalgen). Breiten Raum nahm die Positionierung der Aquakulturprodukte ein. Hier gelte es, Alleinstellungsmerkmale für die Produkte zu kommunizieren und das Premiumsegment anzuvisieren. Die Existenz von Märkten, ihre Volumina, erzielbare Preise und daraus folgende Rentabilitäten gelte es zu identifizieren. Marketingmaßnahmen können hier unterstützen, versetzte Erntezeitpunkte können das Interesse potentieller Abnehmer erhöhen und auch zu höheren Preisen beitragen. Bedarf ergibt sich somit für eine detaillierte Marktpotentialanalyse und die Entwicklung einer „Story“.

Bezüglich des Standortes und der Wahl, offshore zu gehen, gab es den Hinweis, dass sich hier eine Konkurrenz zu anderen Technologien (Kreislaufanlage) und Standorten ergebe. Die Vorteile einer offshore Anlage in Windparks gelte es deshalb sauber zu evaluieren.

Große Bedeutung wurde dem Aspekt der Technologieführerschaft beigemessen. Tatsächlich gibt es erheblich internationale Anstrengungen, im offshore Bereich Aquakulturnutzung zu ermöglichen. Sofern Deutschland hier Technologien entwickeln könne, würde dies zu Technologieführerschaft und damit zu Exportchancen führen können.

Der Bereich bio-engineering/bio-extraction wurde als vielversprechend bezeichnet. Hier gilt es weitere Forschung zu unternehmen: Welche Stoffe können in welchen Mengen durch Muschel- und Makroalgenaquakultur extrahiert werden, welche Beiprodukte (wie z.B. Antifreezingproteine, Algenat, Biotreibstoffe u.ä.) können in welchen Mengen zu welchen Kosten entstehen?

THEMA 4: TECHNIK

Rapporteur: Jan Dubois

Potentiale	Lösungsansätze	Forschungsbedarf
Multi-Use: Mitnutzung erlaubt Abtretung der Wartungs- und Reinigungsarbeiten an die Fischer	Kooperation mit Fischern Geplante Wartungstermine mit Multi-Purpose-Vessel – optimalen Schnittpunkt ermitteln	Schnittstellenforschung Versicherung, Betreiber / Eigentum, Schiffstyp, Fütterung, Überstieg/Anlegen
Tension Leg Systeme für freistehende Systeme	Schraubpfähle für rammfreie Installation	Zyklisches Lastverhalten
Antifouling	Technologieentwicklung zur Beseitigung von Bewuchs	Korrosionsschutzsysteme
Hemmnisse	Lösungsansätze	Forschungsbedarf
Auswirkungen des Hydroschalles aus Anlagenbetrieb für die AQ	Messungen, z.B. Alpha Ventus	Übertragung der Ergebnisse aus AQ
Minimierung von Sicherheitsrisiken	Erkenntnisse der Fischerei nutzen	
Lastansätze	Versuche / Prototyp	Zertifizierung Lastmodelle für Käfige Messungen
Wirtschaftlichkeit: Wie wird Tragstruktur verteuert? Wie viel Mittel werden in einen verstärkten Tripile eingeplant?		

7.6 Zusammenfassende Schlussfolgerungen aller Projektgruppen

7.6.1 Fazit der AG 1: Biologie

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die starken saisonalen Temperaturdifferenzen für eine optimale Aufzucht der meisten Arten als limitierender Faktor gelten. Eine Lösung dafür wäre ein saisonaler Wechsel zwischen Arten mit verschiedenen Temperaturbedürfnissen oder der Verzicht auf eine Aufzucht während der Wintermonate. Das höhere Aufkommen von Sturmereignissen im Winter würden zudem eine Versorgung und regelmäßige Wartung erschweren. Die Strömungsuntersuchungen lassen vermuten, dass die Site-Selection-Criteria gerade für Plattfische sorgfältig bestimmt werden müssen, um eine Kultur im Offshore-Bereich umzusetzen.

Vielversprechend sind allerdings neue Ansätze zur Wertsteigerung in der Aquakultur. Es werden vermehrt biotechnologische Ansätze zur Extraktion von hochwertigen Nebenprodukten wie Proteinen (z.B. Anti-Freeze) genutzt, die der Aquakultur neue Möglichkeiten der Wertschöpfung eröffnen (Valorisation of AQ-Products).

Eingeschränkt könnte auch die Domestizierung oder die Nutzung neuer Arten ertragssteigernde Effekte haben, dafür müsste allerdings gewährleistet sein, dass die Tiere keinen Kontakt zu natürlichen Populationen haben können, was beim heutigen Stand der Technik nicht zu 100% zu garantieren ist. Auf eine Einführung nicht heimischer Arten ist dringend abzuraten.

Die Berücksichtigung von ökologischen Gesichtspunkten und Tierschutzaspekten in einem so frühen Stadium der Offshore-Aquakultur-Bemühungen sollen garantieren, dass frühere Verfehlungen der Aquakultur-Industrie sich unter keinen Umständen wiederholen werden.

Trotz der sehr umfangreichen Fragestellung sind während der Untersuchungen auch neue Fragen aufgekommen die in diesem Rahmen nicht beantwortet werden konnten, aber eine besondere Relevanz bezüglich der Machbarkeit einer Co-Nutzung von Windparks durch Aquakultur haben:

- Welchen Einfluss haben Lärm, Vibrationen und Schattenwurf der Windräder auf die Zuchtorganismen?
- Haben das elektromagnetische und elektrische Feld zum Korrosionsschutz Einfluss auf die Zuchtorganismen?
- Wie wirken sich Wellen- und Strömung und besondere Stressereignisse wie Sturm auf die Zuchtorganismen aus unter dem Aspekt der Artgerechten Tierhaltung?
- Kann in einer Teststudie am Ort die bisher ungeklärten Fragestellungen lösen?

7.6.2 Fazit der AG 2: Ökonomie

Insgesamt kann festgestellt werden: Die Ko-Nutzung von Meeresarealen im Offshore Bereich birgt ökonomische Chancen wie auch Risiken. Vielversprechend ist die Offshore Kultur von Muscheln. Abhängig von dem Abnehmermarkt ist auch die Aquakultur von Makroalgen schon in relativ kleinen Betriebsgrößen höchstwahrscheinlich schon jetzt profitabel durchführbar. Hier wäre weitere Forschung im Hinblick auf Erntemengen optimierende Standorte sinnvoll. Das meint eine Evaluation der in Frage kommenden Meeresgebiete hinsichtlich ihres Nährstoffgehaltes und der dadurch möglichen Erntemengen. In Verbindung mit entsprechenden Kostenüberlegungen lassen sich so geeignete Seegebiete für die Kultur von Muscheln, Makroalgen und evtl. Fischen kartieren, die das Risiko eines Investment reduzieren würden. Darüber hinaus erscheint die Offshore Marikultur von Fischen zum jetzigen Zeitpunkt, also mit den gegenwärtigen Erlösmöglichkeiten (Fischpreisen) und angedachten Technologien für die Nordsee bereits für einige Arten und Technologien Erfolg versprechend, sprich: profitabel, durchführbar zu sein. Aber auch hier sollte weitere Forschung erfolgen, insbesondere was die Eignung der in diesem Projekt entwickelten Käfigkonstruktionen für den Offshore Einsatz angeht. Eine solche Pilotanlage kann noch nicht profitabel sein, aber im Hinblick auf Ressourcen sparenden Materialeinsatz und Abschätzung der notwendigen Schiffs- und

Arbeitsleitungen reale Bezugsgrößen schaffen, die auch hier privates Investment deutlich wahrscheinlicher machen. Nicht umsonst widmet sich die Titelgeschichte der Maiausgabe der Fachzeitschrift Fish Farming International den Herausforderungen des Offshore Farmings und betont die Rolle der schwer bezifferbaren Risiken dieses Business, die Investoren noch zurückhaltend sein lassen. Die Demonstration eines profitablen Offshore Gewerbes bzw. der zugrunde liegenden Annahmen würde bedeutende Summen bereitstehenden privaten Kapitals aktivieren, so der Tenor des Artikels.

7.6.3 Fazit der AG 3: Technik

Die OOMU-Forschungsergebnisse belegen die technische Machbarkeit von Käfigstrukturen für Offshore-Aquakulturen in Tragstrukturen für OWEA bzw. als autarke Großeinheiten zwischen den OWEA an einem sehr exponierten deutschen Nordsee-Standort mit großer Wassertiefe. Das Beanspruchungsniveau der untersuchten Käfigstrukturen liegt signifikant über dem Niveau von vorhandenen Strukturen für den Offshore-Aquakultureinsatz. Die vorhandene Kombination aus einer Wassertiefe von 40 m am untersuchten Standort des geplanten Offshore-Windparks Veja Mate und einer Bemessungswellenhöhe von rund 20 m begrenzt die Möglichkeiten der Lastreduktion durch Absenken der Käfige. Auch beim Absenken der Käfige bis kurz über dem Meeresgrund treten bei Extremereignissen große Wellenlasten auf den unteren Käfigbereich auf. Eine Alternative bei der Materialauswahl wie Kunststoff mit erheblich geringerer Festigkeit im Vergleich zu typischem Baustahl besteht daher nicht, weil durch Vergrößerung der Querschnittsabmessungen die Wellenbelastung nichtlinear zunimmt. Andere höherfeste Materialien waren im Vergleich zu dem verwendeten offshore-typischen Baustahl aus wirtschaftlicher Sicht nicht sinnvoll einsetzbar.

Es wurde ein Ingenieurmodell für den kombinierten Lastansatz auf Käfig und Netz des Käfigs vorgestellt, welches nach Abgleich mit den durchgeführten Modellversuchen des Franzius-Instituts der Leibniz Universität Hannover akzeptable Auslegungslasten liefert. Aufgrund des Maßstab 1:40 der Versuche bleibt allerdings eine Unsicherheit über die reale Belastung im Maßstab 1:1, insbesondere über die Auswirkung von Bewuchs auf die hydrodynamischen Lastkoeffizienten. Die Anwendung der vorhandenen Literatur zu Netzlasten im Grenzbereich der zulässigen Parameter hat sich als konservativ erwiesen. Ein wesentlicher Punkt zur Festlegung des Lastniveaus war die Vorgabe von Reinigungsmaßnahmen des Käfigs, die im Rahmen des Betriebs sicher zu stellen sind.

Die ergänzenden Voruntersuchungen zum Einfluss eines integrierten Aquakulturkäfigs auf die Dynamik der BARD 5.0 OWEA mit Tripile-Substruktur zeigen eine signifikante Strukturkopplung zwischen Käfig und Triple auf. Aus diesem Grund muss mit Zwangsbeanspruchungen in einer steif konstruierten Verbindungsstruktur gerechnet werden. Im Projekt OOMU wurden dynamischen Kopplungen und Zwangskräfte durch eine weich konstruierte Verbindungsstruktur stark reduziert, da im Rahmen dieses Auftrags keine andere Untersuchungen mit vertretbarem Aufwand möglich waren. Die flexible Auslegung der Verbindungsstruktur ist für den integrierten Käfig eine konservative Annahme, weil in der Regel nur wenige der sechs bis neun Lagerpunkte zum Lastabtrag beitragen und die hydrodynamischen Lasten so konzentriert aus dem Käfig geleitet werden. Alternative Befestigungsformen wären daher für einen praktischen Einsatz wünschenswert.

Die integrierten Käfigvarianten haben sehr gegenläufige Eigenschaften. Der Zylinder bietet mit das maximale Zuchtvolumen, liefert allerdings auch die größten Zusatzlasten auf die Tragstruktur. Im Gegensatz dazu kann bei Einsatz der integrierten Kugelstruktur die Zusatzlast erheblich reduziert werden, weil das Kugelvolumen um rund 35 % kleiner und die Kugelform weniger hydraulischen Widerstand bietet. Wesentlicher Kostentreiber der integrierten Käfigvarianten ist die nachträgliche installierbare Befestigungsstruktur. Für einen Serieneinsatz ist daher ein integriertes OWEA-Aquakultur-Tragstrukturdesign zu empfehlen, da die OWEA-Tragstruktur-kosten so teilweise durch die Aquakultur erwirtschaftet werden können und die Nutzung der Offshore-Windenergie durch die Symbiose mit der Offshore-Aquakultur konkurrenzfähiger werden kann. Für einen prototypischen Einsatz eines integrierten Käfigs wird die Kugelstruktur empfohlen und der Messzeitraum sollte sich von Anfang März bis Ende Oktober eines Jahres erstrecken, um die Zusatzlasten des Käfigs ohne

konstruktive Veränderungen an der OWEA-Tragstruktur abtragen zu können. Das Winter-Trimester mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit für extreme Seegangereignisse wird dadurch gemieden.

Im Rahmen des Projektes „Open Ocean Multi Use“, welches durch das Bundesministerium für Umwelt gefördert wird, sind durch den Fördermittelempfänger „Institut für marine Ressourcen“ (IMARE, Bremerhaven) physikalischen Modellversuche zur Untersuchung von Aquakultürkäfigen an Offshore-Windenergieanlagen am Franzius-Institut in einem Unterauftrag veranlasst worden.

Ziel der Untersuchungen ist es gewesen, abzuschätzen inwiefern eine Co-Nutzung der existierenden Strukturen zur Gründung von Offshore-Windenergieanlagen für Aquakultur aus technologischen Gesichtspunkten möglich und zielführend ist. Hierzu sind im Rahmen der physikalischen Modellversuche Messungen zu Geschwindigkeitsveränderungen, zu Kräften infolge der Befestigung der AKK an den Gründungsstrukturen sowie Kolkuntersuchungen durchgeführt worden.

Mit Blick auf die Veränderung von Strömungsgeschwindigkeiten ergeben sich die folgenden Sachverhalte. Ohne Beeinflussung durch die TriPile-Struktur oder den AKK liegen die Geschwindigkeiten der maximalen Welle bei der Versuchsdurchführung bei bis zu 0,4 m/s. Dies entspricht im Naturmaßstab einer Geschwindigkeit von rd. 2,53 m/s. Bei der häufigen Welle liegen die maximalen Geschwindigkeiten bei 0,03 m/s, mit einer Entsprechung in der Natur von 0,2 m/s. Die gemessenen Geschwindigkeiten decken sich mit den aus Wellentheorien theoretisch berechneten Geschwindigkeiten, sodass die Ergebnisse der Messungen als plausibel angenommen werden können.

Bei Beeinflussung durch eine TriPile-Struktur verändern sich nicht nur die Strömungsrichtungen, sondern auch die Strömungsgeschwindigkeiten. Ausgehend von den Messungen beträgt die maximale lokale Geschwindigkeit der maximalen Welle $>0,6$ m/s an der Struktur, mit einer Entsprechung in der Natur von 3,8 m/s. Ein Geschwindigkeitsanstieg von 30 % durch den Einbau des TriPiles sollte bei der Planung unbedingt beachtet werden.

Durch den Einbau des Fischkäfigs vergrößern sich die Geschwindigkeiten im Zeitraum des Wellenlängs um rd. 40 %. In der Natur führt dieses zu Geschwindigkeiten bis zu 3,2 m/s. Weiterhin zieht der Einbau eines AKK signifikante Auswirkungen auf die Geschwindigkeit in Kanalquer-richtung mit sich. Das Gesamtgeschwindigkeitsfeld wird inhomogener und zeitvarianter. Die Quergeschwindigkeiten betragen bis zu 0,3 m/s, mit einer Entsprechung in der Natur von 1,9 m/s. Innerhalb des Käfigs verringert sich durch den Käfig die Geschwindigkeit um 6 % auf 0,5 m/s gegenüber dem ungestörten Fall. Dies entspricht im Naturmaßstab 3,2 m/s. Dies bedeutet, dass sich die Geschwindigkeit innerhalb des Käfigs zwar verringert, die Dämpfung der Geschwindigkeit aber eher gering ausfällt. Weitere Messungen in Folgeprojekten können das Gesamtverständnis der inneren Geschwindigkeiten und der Dynamik im AKK-Inneren ausbauen.

Die gemessenen Kräfte zwischen Zylinder- und Kugelkäfig sowie der Gründungsstruktur der Offshore-Windenergieanlage betragen im Modell maximal rd. 20 N und minimal rd. -30 N für den Zylinderkäfig pro Lasteinleitungsstelle mit einer Entsprechung in der Natur von rd. 1,28 MN bzw. -1,92 MN. Für die Variante des Kugelkäfigs ergeben sich unter einer abweichenden Lasteinleitung gegenüber dem Zylinder maximale Kräfte von 18 N bzw. minimal -12 N pro Lasteinleitungsstelle. Dies entspricht Kräften in der Natur von 1,15 MN bzw. -0,77 MN. Eine Bewertung der Kraftmessungen erfolgt über die Ergebnisse des Instituts für Stahlbau, die weitere Untersuchungen zu statischen Erfordernissen der AKK und zu Lasten auf das Gesamtsystem. Eine Stellungnahme zu den Ergebnissen kann auch durch die F&E-Abteilung von Bard-Engineering erfolgen.

Die gemessenen Kolkentwicklungen im Nahfeld der TriPile-Struktur ergeben, dass keine signifikanten Kolke zu erwarten sind. Weiterhin zeigt sich, dass die Kolkentwicklung positiv durch das Vorhandensein von AKK beeinflusst wird, wenngleich dieser Effekt nicht gänzlich verhindert, dass ein Kolkprozess einsetzt. Festzuhalten ist allerdings auch, dass die vorliegenden Ergebnisse keine Kolkbeeinflussung durch Strömung berücksichtigen.

7.6.4 Fazit der AG 4: IKZM und Co-Management

Innerhalb der Interviews konnten gerade in Bezug auf den Fischereisektor keine Akzeptanzprobleme festgestellt werden. Aber einige Befragte stellen das Potential der Fischer als mögliche Betreiber und deren Akzeptanz in Frage, somit bedarf dieser Punkt hinreichender Klärung.

Zudem muss geklärt werden, ob die Stakeholderanalyse auf räumlicher Ebene erweitert werden muss und welche Fischer vor allem betroffen sind, da aus einigen Interviews hervorging, dass überwiegend holländische, dänische und belgische Fischer ihre Fanggebiete durch die Windparks verlieren.³

Ein sehr wichtiger Aspekt sind Bedenken gegenüber den negativen Umweltauswirkungen der Aquakultur. Hier könnte ein herausgegebenes Papier von Greenpeace zu Kriterien von nicht-nachhaltiger Aquakultur zur Hilfe hinzugezogen werden. Zudem arbeitet der WWF an einem globalen Standard für Aquakultur, dem Aquaculture Stewardship Council (ASC), der die Möglichkeit bietet, das Produkt zertifizieren zu lassen oder an dem sich ggf. auch orientiert werden kann.

Im Falle eines Co-Managements zwischen den Fischern und Windparkbetreibern muss ein Vertrauensverhältnis aufgebaut werden.

8. Ausblick und zukünftiger Forschungsbedarf

8.1 Allgemein

Alle Untersuchungen durch die beteiligten Projektpartner sowie die langjährigen Vorarbeiten der Wissenschaftler des Alfred-Wegener-Instituts (AWI) und des Instituts für Marine Ressourcen (IMARE) in Bremerhaven haben die Machbarkeit der beschriebenen Vorhaben mehrfach in Aussicht gestellt. Sowohl die biologischen, wie auch technischen und kommerziellen Möglichkeiten erlauben eine Kultur als Co-Use im Offshore-Bereich. Dennoch mangelt es neben den Vorarbeiten an Land sowie einigen Untersuchungen im Meer an einer Umsetzung im Pilot-Maßstab. Selbst der Aufbau einer kleineren Teststation an einem Ort, der exponiert ist, sollte für eine kommerzielle Umsetzung im Vorfeld aufgebaut und untersucht werden. Im Folgenden werden einige Beispiele für zukünftige Untersuchungen beschrieben:

8.2 Vorschläge im Detail

Im Rahmen der Lastsimulationen und der Dimensionierung der untersuchten Käfigvarianten mussten teilweise aufgrund fehlender wissenschaftlicher Erkenntnisse konservative Annahmen getroffen werden, die es für einen wirtschaftlichen Einsatz von Offshore-Aquakulturen fundiert zu beantworten gilt. Einerseits senkt dieser Schritt die aufgezeigten technischen Risiken, andererseits sollte das wirtschaftliche Optimierungspotential aktiviert werden. Vor dem Serieneinsatz der vorgeschlagenen Käfigvarianten sind aus technischer und wirtschaftlicher Sicht weitere Fragen zu beantworten. Folgende Punkte stehen dabei aus Sicht der Autoren hinsichtlich der Last- und Simulationsmodelle im Vordergrund:

- die Überprüfung der verwendeten Lastansätze im Projekt OOMU durch Großversuche oder Messungen an einem Prototypen
- die Überprüfung des dynamischen Verhaltens und der Beanspruchungen von der OWEA mit Käfig durch eine gekoppelte Gesamtsimulation des OWEA-Tragstruktur-Aqua-kulturkäfig-Systems

³ http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user_upload/themen/meere/Greenpeace_Red_Grade_Criteria_for_Unsustainable_Aquaculture.pdf

- auf Basis eines gekoppelten Simulationsmodells und von im Großmaßstab validierten Lastansätzen kann ein weiterentwickeltes Redesign der integrierten Käfigvarianten und der Tragstruktur-Käfigverbindung durchgeführt werden

Die Lastermittlung ist auch heute bereits detailliert durch Anwendung von aufwendigen CFD-Modellen möglich. Aus Sicht der Autoren sollten diese komplexen Modellen in Verbindung mit weiteren großmaßstäblichen Versuchen den Zwischenschritt hin zur Entwicklung eines für den OWEA-Simulationscodes praktikablen Lastmodells darstellen. Eine genaue Beurteilung der Gesamtdynamik ist nur durch ein erweitertes gekoppeltes Simulationsmodell der OWEA mit Tragstruktur und integriertem Käfig möglich. Hierfür werden aufgrund der großen Anzahl von Stabelementen für den Käfig im Vergleich zum Tripile erheblich größere Simulationszeiten erwartet. Für einen möglichen Optimierungsprozess mit 3 bis 4 Iterationen in den Konstruktionsabmessungen sollten mehreren Wochen Rechenzeit eingeplant werden. Durch diesen Aufwand können jedoch auf Grundlage der durchgeführten Untersuchungen zum zeitlichen Verlauf der Belastungsverlauf von Käfig und Tragstrukturlasten erhebliche Designreserven aktiviert werden.

Weitere Untersuchungen halten die Berichtsverfasser im Bereich der Fertigung und der Verfahrenstechnik für erforderlich:

- die optimale Kombination aus Materialwahl und Fertigungstechnik
- die Integration des Installationsprozesses, der Betriebs- und Wartungsarbeiten in das rasant wachsende Offshore-Wind-Infrastrukturnetzwerk

Die beschriebene Vorgehensweise zielt auf eine ganzheitliche Betrachtung der Anlagendynamik, der Fertigungs- bzw. Installationsabläufe und des Betriebs von technischen Anlagen für Offshore-Aquakulturen ab. Analog zur Aktivierung der Potentiale in der Versorgungs- und Wertschöpfungskette der Offshore-Windenergie scheint diese Herangehensweise auch für die Etablierung der Offshore-Aquakultur in der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone sehr geeignet.

Mit Blick auf die Entwicklung eines marktreifen AKK-Prototypen sind aus offshore-technischer Sicht und zur Minimierung von Unsicherheiten von Wellenlasten für die Bemessung weitere Untersuchungen zwingend notwendig. Die im Rahmen der Studien gewonnenen Erkenntnisse beruhen auf physikalischen Modellversuchen mit einem Längenmaßstab von 1:40 und unterliegen daher zu einem gewissen Grad Labor- und Skalierungseffekten. Planungen zur Entwicklung eines funktionsfähigen Prototyps verlangen allerdings auf der einen Seite eine Minimierung von Planungsunsicherheiten, die mit weiteren großskaligen Modellversuchen (z.B. im Großen Wellenkanal Marienwerder). Auf der anderen Seite ist für einen funktionsfähigen Prototypen nicht nur die generelle statische Eignung nach zu weisen, sondern auch die funktionelle Eignung im Offshore-Einsatz (z.B. Einsetzen/Entnahme von Aquakulturlebewesen, Unterhaltungsmaßnahmen, Einbringung/Montage, Absenken auf Wassertiefe). Eine Überprüfung solcher Bau- und Montagezustände sowie Situationen während des Betriebs müssen zwangsläufig vor einen finalen Test unter Naturbedingungen untersucht werden. Für solche Tests eignen sich ebenfalls großskalige Versuche.

Seitens der biologischen Forschungsfragen ist ein Umsatz erforderlich, da nur unter Realbedingungen die Aufzucht zur Marktreife, die Fütterung (und die damit verbundenen Parameter, Stress und Welfare sowie Krankheitsmanagement und die abschließende Ernte getestet werden. Daraus abgeleitet können sowohl sozio-politische und wirtschaftliche Erfolge abgeleitet und untersucht werden.

9. Referenzen

Abellan E, Basurco B (1999) Marine Finfish Species Diversification: Current Situation and Prospects in Mediterranean Aquaculture. CIHEAM, Zaragoza, 1–139

- Ágústsson, G. (2004) *Design considerations and loads on open fish cages south of Iceland. Magister Thesis.* Reykjavík: Sigillum Universitatis Islandiae
- Armour JC, Cannon JN (1968) „Fluid Flow Through Woven Screens“. *AIChE Journal* 14 (3): 415–420.
- Beveridge MCM (2004) *Cage Aquaculture.* Blackwell Publishing Ltd, Oxford, 361pp
- Bilio M (2008) Controlled reproduction and domestication in aquaculture. The current state of the art. *Aquaculture Europe. Part I-IV* 33(2):1–24
- Bjelland R (2001) European hake, *Merluccius merluccius* (L. 1758), a new candidate for aquaculture? Rearing techniques, larval development and startfeeding. Master's thesis. Universitetet i Bergen, Bergen, 77 pp
- Boghen A (1991) *Cold-Water Aquaculture in Atlantic Canada.* Canadian Institute for Research on Regional Development, New Brunswick, 410 pp
- Bollrich G (2000b) *Technische Hydromechanik.* 4th Aufl. Berlin: Verlag für Bauwesen.
- Bollrich G (2000a) *Technische Hydromechanik.* 4th Aufl. Berlin: Verlag für Bauwesen.
- Le Bris F, Marichal D (1998) „Numerical and experimental study of submerged supple nets: Applications to fish farms“. *Journal of Marine Science and Technology* 3: 161–170.
- BSH – Bundesamt für Schifffahrt und Hydrographie - http://www.bsh.de/de/Meeresdaten/Beobachtungen/MARNET-Messnetz/historisch/debu_his/debu_temp_salz.html/debu_tem_2009.jsp (Abgerufen: April 2012)
- Buck BH (2002) Open Ocean Aquaculture und Offshore Windparks. Eine Machbarkeitsstudie über die multifunktionale Nutzung von Offshore-Windparks und Offshore-Marikultur im Raum Nordsee. Berichte zur Polar- und Meeresforschung (Reports on Polar and Marine Research). Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Bremen, 252 pp
- Buck BH (2006) Muschel- und Algenzucht in Offshore-Windparks: Potentiale für eine nachhaltige Produktion aquatischer Lebensmittel? In: v. Lukowicz M, Hilge V (eds) *Entwicklungsmöglichkeiten der heimischen marinen Aquakultur.* Deutscher Fischereiverband e.V.
- Buck BH, Krause G (2012) Integration of Aquaculture and Renewable Energy Systems. In: Meyers RA (ed) *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology.* Springer Science + Business Media LLC, Berlin/Heidelberg
- Buck BH, Krause G, Rosenthal H (2004) Multifunctional use, environmental regulations and the prospect of offshore co-management: potential for and constraints to extensive open ocean aquaculture development within wind farms in Germany. *Ocean Coastal Management* 47:95–122
- BSH (2012) Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie. *CONTIS-Informationssystem.* <http://www.bsh.de/de/Meeresnutzung/Wirtschaft/CONTIS-Informationssystem/index.jsp> (Zugriff am 28. 02 2012).
- Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie. „Genehmigungsbescheid Veja Mate.“ 2009.
- CBD (2012) <http://www.cbd.int/history/>, aufgesucht am 12. Sep. 2012.
- Chambers MD, Howell WH (2006) Preliminary information on cod and haddock production in submerged cages off the coast of New Hampshire, USA. *ICES Journal of Marine Science* 63(2):385–392
- Cremer M (2008) „Engineering Manual: U.S. Soybean Industry OCAT Offshore Ocean Fish Culture Cage“ 2008.
- Daniels HV, Watanabe WO (2010) *Practical Flatfish Culture and Stock Enhancement.* Wiley Blackwell, 392 pp
- Darwiche MKM, Williams AN, Wang K-H (1994a/b) „Wave Interaction with Semiporous Cylindrical Breakwater“. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering* 120 (4): 382–403.
- Davies IM, Greathead C, Black EA (2008) Risk analysis of the potential interbreeding of wild and escaped farmed cod (*Gadus morhua* Linnaeus). *Reports and Studies – Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection* 76:112–132
- Dean RG (1974) Evaluation and development of water wave theories for engineering application. *Coastal Engineering Research Center, Special Report No. 1, Vol. 2.*
- de Otavio R, Andrade C, Freitas VM, da C LE, Pinheiro LM (2009) Effects of Feeding Levels on Growth Response, Body Composition, and Energy Expenditure in Blackspot Seabream, *Pagellus bogaraveo*, Juveniles. *Journal of the World Aquaculture Society* 40(1):95–103

- Det Norske Veritas (2010) „Recommended Practice DNV-RP-C203, Fatigue Design of Offshore Steel Structures.“ 04 2010. www.dnv.com.
- Det Norske Veritas (2010) „Recommended Practice DNV-RP-C205, Environmental Conditions and Environmental Loads.“ 10 2010. www.dnv.com (Zugriff am 3. März 2011).
- Ebert R (2011) Anodenhalterung für kathodische Korrosionsschutzeinrichtungen von Gründungspfählen. Europäische Patentanmeldung Patent 09013547.6. 2011.
- EN (2009) 61400-3:2009. *Wind turbines - Part 3: Design Requirements for offshore wind turbines*. Berlin: Beuth Verlag, 2009.
- Ender C (2012) Windenergienutzung in Deutschland - Stand 31.12.2011. *DEWI Magazin No. 40*: 30-43.
- Engell-Sorensen K, Stottrup JG, Holmstrup M (2004) Rearing of flounder (*Platichthys flesus*) juveniles in semiextensive systems. *Aquaculture* 230(1-4): 475–491
- EU (2008) Richtlinie 2008/56/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 2008 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Meeresumwelt (Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie)
- FAO (2011) Fisheries and Aquaculture department. Online query panels <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-aquaculture-production/query/en> (Abgerufen: Oktober 2011)
- FAO (2004a) Food and Agriculture Organization of the United Nations. Cultured Aquatic Species Information Programme. *Anguilla anguilla*. FAO Fisheries and Aquaculture Department [online].
- FAO (2004b) Food and Agriculture Organization of the United Nations. Cultured Aquatic Species Information Programme. *Platichthys flesus*. FAO Fisheries and Aquaculture Department [online].
- FAO (2004c) Food and Agriculture Organization of the United Nations. Cultured Aquatic Species Information Programme. *Salmo salar*. FAO Fisheries and Aquaculture Department [online].
- FAO (2005) Food and Agriculture Organization of the United Nations. Cultured Aquatic Species Information Programme. *Dicentrarchus labrax*. FAO Fisheries and Aquaculture Department [online]
- FAO (2008) Food and Agriculture Organization of the United Nations. The state of world fisheries and aquaculture
- FAO (2012) Food and Agriculture Organization of the United Nations. The state of the world fisheries and aquaculture. Fisheries and aquaculture department, Rome, 209
- Fenton JD (1990) Nonlinear Wave Theories. *Ocean Engineering Science*, Vol. 9.
- Fishbase (2011) www.Fishbase.org (Abgerufen: Oktober 2011)
- Fleming IA, Agustsson T, Finstad B, Johnsson JI, Bjoernsson BT (2002) Effects of domestication on growth physiology and endocrinology of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Can J Fish Aquat Sci* 59(8):1323–1330
- Folmar LC, Dickhoff WW (1980) The parr-smolt transformation (smoltification) and seawater adaptation in salmonids. A review of selected literature. *Aquaculture* 21:1–37
- Fredrikson DW, Swift MR, Eroshkin O, Tsukrov I, Irish JD, Celikkol B (2005) Moored Fish Cage Dynamics in Waves and Currents. *IEEE Journal of Oceanic Engineering* 30 (1).
- Germanischer Lloyd (2005) *Guideline for the Certification of Offshore Wind Turbines*. Uetersen: Heydorn Druckerei und Verlag, 2005.
- Gieseke J, Mosonyi E (2005) *Wasserkraftanlagen*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Goseberg N, Franz B, Schlurmann T (2012) *Bericht-Nr. 722: Open Ocean Multi-Use, Hydraulische Modellversuche zur Ermittlung der Lasten auf Aquakulturräcken*. Hannover: Franzius-Institut.
- Groth J, Johansson AV (1988) Turbulence Reduction By Screens. *Journal of Fluid Mechanics* 197: 139–155.
- Günther H, Weisse R (2008) *Wind- und Seegangsinformationen in der Nordsee*. GKSS Forschungszentrum in der Helmholtz Gemeinschaft, Geesthacht.
- Harboe T, Adoff GR (2005) Marin Fisk – Oppdrett av kveite. *Kyst og Havbruk*. Fisker og havet 2, pp 123–126
- Heins O, Krebs T, Baumann M (2012) „www.htg-online.de.“ 28. 02 2012. http://www.htg-online.de/fileadmin/user_upload/korrosionsfragen/downloads/HTG-Kongress_Wuerzburg_09-09-2011/HTG-2011_Korrosionsschutz_von_Offshore-Windenergieanlagen__Oliver_Heins.pdf (Zugriff am 28. 02 2012).
- HELCOM (2012) <http://www.helcom.fi/>, aufgesucht am 12. Sep. 2012.

- Hellström, J.G., V. Frishfelds, und T.S. Lundström. 2010. „Mechanisms of Flow Induced Deformation of Porous Media“. *Journal of Fluid Mechanics* 664 (5): 220–237.
- Hidalgo F, Alliot E, Thebault H (1987) Influence of water temperature on food intake, food efficiency and gross composition of juvenile sea bass, *Dicentrarchus labrax* . *Aquaculture* 64(3):199–207
- Howell WH, Chambers MD (2005) Growth performance and survival of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) growth in submerged net pens. AAC, St. Andrews, NB (Canada), *Aquaculture Canada super(OM) 2004: Proceedings of the Contributed Papers of the 21 super(st) Annual* , 35–37
- HTG e.V. (2004) Arbeitsausschuss "Ufereinfassungen" der. *Empfehlungen des Arbeitsausschusses "Ufereinfassungen": Häfen und Wasserstraßen EAU 2004*. 10. Auflage. Berlin: Ernst & Sohn, 2004.
- Hughes SA (1993) *Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering*. Hg von. P.-H. Liu. Advanced Series on Ocean Engineering. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore.
- ICES (2012) <http://www.ices.dk/indexfla.asp>, aufgesucht am 12. Sep. 2012.
- ICES advisory committee on fisheries management (2011) Report of the 2011 Session of the Joint EIFAAC/ICES Working Group on Eels. EIFAAC 48
- Iglesias J, Lago MJ, Sanchez FJ, Cal R (2010) Capture, transport and acclimatization to captivity of European hake, *Merluccius merluccius* L: preliminary data on feeding and growth. *Aquaculture Research* 41(4):607–609
- IMS Ingenieurgesellschaft (2008) Extremwerte der signifikanten Wellenhöhe analog Standort BARD Offshore 1. Hamburg, 2008.
- Imsland AK, Foss A, Stefansson SO, Mayer I, Norberg B, Roth B, Jenssen MD (2006) Growth, feed conversion efficiency and growth heterogeneity in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) reared at three different photoperiods. *Aquaculture Research* 37(11):1099–1106
- James MA, Slaski R (2006) *Appraisal of the opportunity for Offshore Aquaculture in UK water. Report of Project FC0934*. commissions by Defra and Seafish from FRM Ltd. 119 pp.
- Jensen Ø, Dempster T, Thorstad EB, Uglem I, Fredheim A (2010) Escapes of fishes from Norwegian sea-cage aquaculture: causes, consequences and prevention. *Aquat Environ Interact* 1:71–83
- Jobling M (1988) A review of the physiological and nutritional energetics of cod, *Gadus morhua* L., with particular reference to growth under farmed conditions. *Aquaculture* 70(1-2):1–19
- Kampachifarm - <http://kampachifarm.com/> (Abgerufen Mai 2012)
- Kirschmer O (1925) „Untersuchungen über den Gefälleverlust an Rechen“. *Mitteilungen des hydraulischen Instituts der techn. Hochschule München*.
- Klaoudatos SD, Klaoudatos DS (2004) Brood stock formation of the hermaphrodite finfish species *Pagellus erythrinus* (common Pandora) from fish reared in captivity. *Mediterranean Marine Science* 5(1):187–198
- Klaoudatos SD, Iakovopoulos G, Klaoudatos DS (2004) *Pagellus erythrinus* (Common Pandora): A Promising Candidate Species for Enlarging the Diversity of Aquaculture Production. Springer, Amsterdam, 299–320
- Kobus H (1980) *Hydraulic Modeling*. Verlag Paul Paray, Hamburg: German Association for Water Resources and Land Improvement (DVWK), issued in cooperation with International Association for Hydraulic Research,.
- Korsøen OJ (2011) Biological criteria for submergence of physostome (Atlantic salmon) and physoclist (Atlantic cod) fish in sea-cages. The University of Bergen, Bergen (Norway). 67 pp. 2011. 67
- Lader PF, Enerhaug B (2005) „Experimental Investigation of Forces and Geometry of a Net Cage in Uniform Flow“. *IEEE Journal of Oceanic Engineering* 30 (1): 79–84.
- Lader PF, Enerhaug B, Fredheim A, Johnsen SG, Krokstad JR (2003) *Hydroelastic Modelling of Net Structures Exposed to Waves and Current*. Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway.
- Lader PF, Fredheim A, Lien E (2001) „Dynamic Behaviour of 3D Nets Exposed to Waves and Current“. In *Proceedings of the International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering - OMAE 1*, 411–417.
- Lader PF, Olsen A, Jensen A, Sveen JK, Fredheim A, Enerhaug B (2007) „Experimental Investigation of the Interaction between Waves and Net Structures - Damping Mechanism“. *Aquacultural Engineering* 37 (2): 100–114.

- Lanari D, D'Agaro E, Ballestrazzi R (2002) Growth parameters in European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.): effects of live weight and water temperature. *Ital J Anim Sci* 1:181–185
- Laws EM, Livesey JL (1978) „Flow through Screens“. *Ann. Rev. Fluid Mech.* 10: 247–66.
- Le Bris F, Marichal D (1998) „Numerical and experimental study of submerged supple nets: Application to fish farms.“ *Marine Science and Technology*: 161-170.
- Le Francois NR, Jobling M, Carter C, Blier PU, Savoie A (2010) *Finfish Aquaculture Diversification*. CABI, Oxfordshire, 704 pp
- Loland G (1993) „Current forces on, and water flow through and around, floating fish farms“. *Aquaculture International* 1: 72–89.
- Loverich GF (2010) „A Case Study of an Offshore SeaStation® Sea Farm.“ *Marine Technology Society Journal*, Mai: 36-46.
- Lucas JS, Southgate PC (2003) *Aquaculture: Farming Aquatic Animals and Plants*. Wiley-Blackwell, 648 pp
- Martin H, Pohl R (2009) *Technische Hydromechanik*. Bd. Band 4. Huss-Verlag Berlin.
- Melville BW, Coleman SE (2000) *Bridge scour*. Water Resources Publications, Littleton, Colorado.
- Moe H, Fredheim A, Hopperstad OS (2010) „Structural Analysis of Aquaculture Net Cages in Current“. *Journal of Fluids and Structures* 26 (3): 503–516.
- Moksness E (1994) Growth rates of the common wolffish, *Anarhichas lupus* L., and spotted wolffish, *A. minor* Olafsen, in captivity. *Aquaculture Research* 25(4):363–371
- Moksness E, Kjorsvik E, Olsen Y (2004) *Culture of Cold-Water Marine Fish*. Wiley-Blackwell, 544 pp
- O A (2007) *Die Küste: Empfehlungen für die Ausführung von Küstenschutzwerken durch den Ausschuss für Küstenschutzwerke (EAK)*. Bd. 65. Hamburg, Westholsteinische Verlagsanstalt Boyens und Co. Heide i. Holstein.: Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen.
- Özbilgin H, Glass CW (2004) Role of learning in mesh penetration behaviour of haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil* 61(7):1190–1194
- O'Hern TJ, Torczynski JR (1992) „Reynolds Number Dependence Of The Drag Coefficient For Lamir Flow Through Fine-Scale Screens“. In *Proceedings of the National Fluid Dynamics Congress*.
- Offshore-Windenergie (2012) <http://www.offshore-windenergie.net/windparks> (Abgerufen: Januar 2012)
- OSPAR (2012) <http://www.ospar.org/>, aufgesucht am 12. Sep. 2012.
- Pauly DC Villy, Guénette S, Pitcher TJ, Sumaila UR, Walters CJ,, Watson RZ Dirk, (2002) Towards sustainability in world fisheries. *Nature* 418
- Pavlov DA, Novikov GG (1993) Life history and peculiarities of common wolffish (*Anarhichas lupus*) in the White Sea. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil* 50(3):271–277
- Peleteiro JB, Olmedo M, Alvarez-Blazquez B (2000) Culture of *Pagellus bogaraveo*: Present knowledge, problems and perspectives. CIHEAM, Zaragoza (Spain), Recent advances in Mediterranean aquaculture finfish species diversification. *Proceedings of the Sem*, 141–151
- Peres H, Oliva-Teles A (1999) Influence of temperature on protein utilization in juvenile European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture* 170(3-4):337–348
- Pérez OM (2003) „On the Calculation of wave climate for offshore cage site selection: a case study in Tenerife (Canary Islands).“ *Aquacultural Engineering*: 1-21.
- Person-Le Ruyet J, Buchet V, Vincent B, Le Delliou H, Quemener L (2006) Effects of temperature on the growth of pollack (*Pollachius pollachius*) juveniles. *Aquaculture* 251(2-4):340–345
- Raffel M, Willert C, Kompenhans J (1998) *Particle Image Velocimetry - A Practical Guide*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Rensel JEJ, Kiefer DA, Forster JRM, Woodruff DL, Evans NR (2007) Offshore finfish mariculture in the Strait of Juan de Fuca. *Bulletin of Fisheries Research Agency (Japan)* (19):113–129
- Reynolds AJ (1969) „Flow Deflection by Gauze Screens“. *Journal Mechanical Engineering Science* 11 (3): 290–294.
- Rilling, Gabriel, Patrick Flandrin, und Paulo Goncalves. 2003. „On Empirical Mode Decomposition And Its Algorithms“. In *Proceedings of the 6th IEEE/EURASIP Workshop on Nonlinear Signal*.
- Rosenlund G, Skretting M (2006) Worldwide status and perspective on gadoid culture. *ICES Journal of Marine Science* 63(2):194–197

- Ryan J (2004) „Farming the deep blue, Borad lascaigh Mhara Technical Report. 82 pp.
- Schram E, Van der Heul JW, Kamstra A, Verdegem MCJ (2006) Stocking density-dependent growth of Dover sole (*Solea solea*). *Aquaculture* 252(2-4):339–347
- Scott DCB, Muir JF (2002) „Offshore cage systems - A practical Overview.“ *CIHEAM - Options Mediterraneennes*: 79-89.
- SeeFischG (1984) Gesetz zur Regelung der Seefischerei und zur Durchführung des Fischereirechts der Europäischen Union (Seefischereigesetz - SeeFischG)
- Silva P, Andrade CAP, Timoteo VMFA, Rocha E, Valente LMP (2006) Dietary protein, growth, nutrient utilization and body composition of juvenile blackspot seabream, *Pagellus bogaraveo* (Brunnich). *Aquaculture Research* 37(10):1007–1014
- Sobey RJ (1987) „Application of Stokes, Cnoidal, and Fourier Wave Theories.“ *Journal of Waterway, Port, and Coastal Engineering*, November.
- Sturrock H, Newton R, Paffrath S, Bostock J, Muir J, Young J, Immink A, Dickson M (2008) Part 2: Characterisation of emerging aquaculture systems. Prospective analysis of the aquaculture sector in the EU. Institute for Prospective Technological Studies, 189 pp
- Subflex - <http://www.subflex.org/> (Abgerufen: Juni 2012)
- Sumer BM, Fredsøe J (2002a/B) *The Mechanics Of Scour In The Marine Environment*. World Scientific, Singapur.
- Suquet M, Parfouru D, Paquotte P, Girard S, Gagnon JL (2000) Method for selection of new marine fish species: The case of pollack (*Pollachius pollachius*). CIHEAM, Zaragoza (Spain), Recent advances in Mediterranean aquaculture finfish species diversification. *Proceedings of the Sem*, 127–133
- Sveen JK, Cowen EA (2004) *PIV and Water Waves, Kapitel: Quantitative imaging techniques and their application to wavy flo*. Hg von. G.K. Grue, J.; Liu, P.L.-F., Pederson. World Scientific, Singapore.
- TierSchTrV (2005) Verordnung zum Schutz von Tieren beim Transport und zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 1/2005 des Rates (Tierschutztransportverordnung - TierSchTrV) BGBl I, s. 375
- TierSeuchAnzV (2009) Verordnung über anzeigepflichtige Tierseuchen
- TKrMeldpflV (2009) Verordnung über meldepflichtige Tierkrankheiten
- Treasurer JW, Sveier H, Harvey W, Allen R, Cutts CJ, Mazonra de Quero C, Ford L (2006) Growth, survival, diet, and on-growing husbandry of haddock *Melanogrammus aeglefinus* in tanks and netpens. *ICES Journal of Marine Science* 63(2):376–384
- TWP (2012) <http://www.waddensea-secretariat.org/tgc/MD-Stade-D/WSP-D/WSP-D-start.html>, aufgesucht am 12. Sep. 2012.
- Ungruh G, Zielke W (2004) *Kolkberechnungen an Offshore-Bauwerken: a state of the art review*. Institut für Strömungsmechanik und elektronisches Rechnen im Bauwesen, Universität Hannover.
- Vásquez Olivares AE (2003) „Design of Aquaculture System for Farming in Mexico. Report of Project.
- Wiltshire KH, Manly BFJ (2004) The warming trend at Helgoland Roads, North Sea: phytoplankton response. *Helgoland marine research* 58(4):269–273
- Wirtz KW, Tol RSJ, Hooss KG (2003) Mythos “Offene See”: Nutzungskonflikte im Meeresraum. In: Lozan L et al. (ed) Warnsignale aus Nordsee und Wattenmeer. Eine aktuelle Umweltbilanz. Wissenschaftliche Auswertungen.. Hamburg, pp 157–160
- Zhan JM, Jia XP, Li YS, Sun MG, Guo GX, Hu YZ (2006a/b) „Analytical and Experimental Investigation of Drag on Nets of Fish Cages“. *Aquacultural Engineering* 35 (1): 91–101.

10. Angaben zum Projekt

10.1 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die wesentlichen Investitionen innerhalb der Projektperiode waren die Unteraufträge an das Franzius-Institut Hannover (81.234,84 €), das Institut für Stahlbau in Hannover (25.743,67 €) sowie an das von Thünen-Institut – Institut für Seefischerei in Hamburg (9.572,50 €). Durch die Beteiligung dieser drei Forschungseinrichtungen und somit die Implementierung der Fachexpertisen konnten

diesem Projekt die wesentlichen technischen sowie wirtschaftlichen Teilaspekte beigebracht werden. Die Daten, die im Rahmen dieser Unteraufträge erhoben wurden, und die dadurch erhaltenen Ergebnisse haben wesentlich zum Erfolg des Projektes beigetragen und einen erheblichen Mehrwert generiert. Nur so konnte das Vorhaben als Ganzes beurteilt werden.

Weitere Investitionen, die im Projektverlauf für das IMARE getätigt wurden, waren das Zubehör für das institutseigene Kamerasystem. Dazu gehörten ein Objektiv (Fisheye) (562,85 €) sowie ein Unterwassergehäuse (4.978,99 €), welches für die Unterwasseraufnahmen notwendig war. Das Kamerasystem wurde durch diese Komponenten dahingehend erweitert, da diese für die technischen Untersuchungen sowie für die Welfare-Aufnahmen erforderlich waren.

Das Notebook (1.452,10 €) und der dazu verwendete Monitor (169,00 €) wurden für die täglichen Computerarbeiten verwendet. Solche waren neben den gängigen Schreib- und Rechenarbeiten die Auswertung der Bilder.

10.2 Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Notwendigkeit und Angemessenheit des durchgeführten Projektvorhabens erklärt sich durch im Verwertungsplan und durch die im Bericht beschriebenen Arbeiten. Bei allen Partnern war der Arbeitsaufwand größer, als er im Antrag geplant war. Dennoch konnte durch diesen zusätzlichen Aufwand das Projekt wie geplant abgeschlossen werden.

Weitere Details werden im Gesamtprojektbericht beschrieben (siehe Kapitel 7)

10.3 Der voraussichtliche Nutzen und die Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die eingehende Darstellung des Nutzens wird im Kapitel 7 beschrieben. Hier wird auch detailliert auf die Verwertbarkeit der Ergebnisse hingewiesen.

10.4 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Es wurde an einer weiteren Stelle ein ähnliches Vorplanungen gestartet. An dieser Planung sind Partner aus dem Projekt beteiligt (Buck, Ebeling). Es handelt sich hierbei um die Idee einer Co-Nutzung im Windpark Cape Wind in Massachusetts (USA).

Darüber hinaus gibt es nach der Ausschreibung des 7. Rahmenprogramms der EU drei geförderte Projekte (TROPOS, H2Ocean und MERMAID), die Multi-Use Plattformen zum Inhalt haben. Eine Co-Nutzung, wie sie im OOMU-Vorhaben getestet wurden, ist zwar auch Bestandteil dieser Projekte, allerdings in einer nachgeordneten Priorität. Deutschland mit seinen bisherigen Erfahrungen diesen Projektvorhaben weit voraus.

Weltweit existieren kaum kommerzielle Offshore-Aquakultur-Betriebe. Die einzigen bekannten Unternehmen sind Subflex LTD (<http://www.subflex.org/>) aus Israel, **Kampachi Farms, LLC** (ehemals Kona Blue Water Farms) auf Hawaii (<http://kampachifarm.com/>) Snapperfarm Inc. Auf Puerto Rico und Offshore Shellfish Ltd in Großbritannien. Aufgrund der harschen Umweltbedingungen und einer Vielzahl technischer und kommerzieller Risiken konnte sich die Offshore-Aquakultur bisher nicht durchsetzen. Im Bereich der Co-Nutzung von Offshore-WEA's durch Aquakultur, speziell in Bezug auf ein Verankerung an den Gründungsstrukturen der Anlage sind keine Forschungsprojekte oder andere Entwicklungen bekannt.

Anfang des Jahres 2012 fand ein Offshore-Aquakulturforum mit internationalen Experten in Bremerhaven statt. Dabei wurden der aktuelle Fortschritt und die Erfahrungen weltweit, sowohl auf wissenschaftlicher wie auf unternehmerischer Seite ausführlich diskutiert. Außerdem wurde von den Teilnehmern die Bremerhaven-Declaration ausgearbeitet, mit dem Ziel die Bedeutung der Offshore-Aquakultur für die Versorgung mit hochwertigen Proteinen für die Zukunft hervorzuheben.

Hier würde ich noch mehr zum Thema Offshore-Aquakultur in der Wissenschaft schreiben und direkten Bezug auf die Bremerhaven Declaration nehmen, die im Detail darstellt warum eine Offshore-Aquakultur sich weltweit trotz Ihres großen Potentials nicht entsprechend durch setzen konnte.

10.5 Auflistung der erfolgten und geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6

10.5.1 Bisher veröffentlicht oder im Druck

- Buchholz CM, Krause G, Buck BH** (2012) Seaweed and Men. In: Seaweed Ecophysiology & Ecology by C. Wiencke & K. Bischof (Eds.). Ecological Studies of Springer, 471-493
- Buck BH, Krause G** (2012) Integration of Aquaculture and Renewable Energy Systems, In: Robert A. Meyers (ed.), Encyclopedia of Sustainability Science and Technology, Springer Science+Business Media LLC. Chapter No. 180
- Buck BH, Krause G** (in press) Short Expertise on the Potential Combination of Aquaculture with Marine-Based Renewable Energy Systems. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU). 58 pp
- Hundt M, Goseberg N, Wever L, Ebeling M, Schlurmann T, Dubois J, Schaumann P, Buck BH** (2011) Multiple Nutzung und Co-Management von Offshore Strukturen: Marine Aquakultur und Offshore Windparks, Tagungsband, 8. FZK-Kolloquium. Maritimer Wasserbau und Küsteningenieurwesen. Forschungszentrum Küste (FZK), Gemeinsame Einrichtung der Leibniz Universität Hannover und der technischen Universität Braunschweig, 8, 127-140
- Krause G, Griffin RM, Buck BH** (2011) Perceived Concerns and Advocated Organisational Structures of Ownership Supporting 'Offshore Wind Farm – Mariculture Integration', From Turbine to Wind Farms: Technical Requirements and Spin Off Products /edited by G. Krause. Rijeka, Croatia: InTech, Open Access Publisher, 203-218
- Rosenthal H, Costa-Pierce BA, Krause G, Buck BH** (2012) Bremerhaven Declaration on the Future of Global Open Ocean Aquaculture, Part I: Preamble and Recommendations. Aquaculture Forum on Open Ocean Aquaculture Development - From visions to reality: the future of offshore farming. Funded by: Investment in sustainable fisheries co-financed by the European Union (European Fisheries Fund – EFF), Ministry of Economics, Labour and Ports (Free Hanseatic City of Bremen), The Bremerhaven Economic Development Company Ltd., 4 pp.
- Rosenthal H, Costa-Pierce BA, Krause G, Buck BH** (2012) Bremerhaven Declaration on the Future of Global Open Ocean Aquaculture, Part II: Recommendations on subject areas and justifications. Aquaculture Forum on Open Ocean Aquaculture Development - From visions to reality: the future of offshore farming. Funded by: Investment in sustainable fisheries co-financed by the European Union (European Fisheries Fund – EFF), Ministry of Economics, Labour and Ports (Free Hanseatic City of Bremen), The Bremerhaven Economic Development Company Ltd., 8 pp.

10.5.2 Geplant oder in Arbeit

- Buck BH, Dubois J, Ebeling M, Goseberg N, Hundt M, Huthsfeldt H, Krause G, Schaumann P, Schlurmann T, Scabell J, Schmidt J, Wever L, Weth S**, (in Preparation) Multi-use of offshore wind farm areas: Assessing the biological, technical and economic feasibility. *Reviews in Aquaculture* oder *Journal of the World Aquaculture Society*
- Buck BH, Schmidt J** (in preparation) Diversification of fish in a hostile environment in the North Sea: Potentials and Constraints. *Journal of Applied Ichthyology*
- Ebeling M, Buck BH, Schmidt J** (in Preparation) Offshore mariculture – commercial feasibility. *Marine Resource Economics*
- Goseberg N, Franz B, Schlurmann T** (in Preparation) Velocity and force measurements for open ocean aquaculture fish cages attached to offshore wind energy converter structures. *Aquaculture Engineering*
- NN et al.** (in Preparation) The design of open ocean aquaculture fish cages - structural analysis and experimental investigation. *Ocean Engineering*
- Troell M, Chopin T, Angel D, Buck BH** (to be submitted) IMTA and offshore aquaculture development. In: Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) or the Turquoise Revolution: A greener ecosystem approach to the Blue Revolution, Thierry Chopin, Amir Neori, Shawn Robinson and Max Troell (Eds.)

10.5.3 Vorträge (national und international)

(eingeladene Vorträge in rot)

- Buck BH** (2012) Aquaculture and the combination with energy supply installations, East link – The way to knowledge Economy, 2nd October 2012, Palanga (Lithuania)
- Buck BH** (2012) Aquaculture- towards the sustainable use of marine resources, East link – The way to knowledge Economy, 1st October 2012, Palanga (Lithuania)

- Buck BH (2012)** Aquaculture Research at AWI – IMARE, Conicyt Delegation of Diversification of Aquaculture - EU, 6th September 2012, La Serena – Coquimbo (Chile)
- Buck BH (2012)** Aquaculture Research at AWI – IMARE, Conicyt Delegation of Diversification of Aquaculture - EU, 3rd September 2012, Puerto Montt (Chile)
- Buck BH (2012)** Aquakultur weltweit im Fokus: Der Paradigmenwechsel und die neue Nachhaltigkeit auf dem Land und im Meer. Die Woche der Umwelt, Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Schloss Bellevue, 5th June 2012, Berlin (Germany)
- Buck BH (2012)** Meeting the Quest for Marine Spatial Planning Efficiency: Progress and Prospects of Extensive Aquaculture within Offshore Wind Farms in Europe, University of California Santa Barbara (UCSB), 18th May 2012, Santa Barbara (USA)
- Buck BH (2012)** Multi-Use Concepts as a Potential Solution for the Overcrowded Marine Realm, International Marine Spatial Planning Symposium: Sharing Practical Solutions, 11th Annual Ronald C. Baird Sea Grant Science Symposium, Providence Rhode Island (USA)
- Buck BH (2012)** Potentials of Multi-Use Concepts within a MSP Process, International Marine Spatial Planning Symposium: Sharing Practical Solutions, 11th Annual Ronald C. Baird Sea Grant Science Symposium, Providence Rhode Island (USA)
- Buck BH (2012)** Food production moves offshore: Technologies in Europe, Parlamentarischer Lunch. Topic: Innovationspotential von Umweltforschung, 6th June 2012, Brussels (Belgium)
- Buck BH (2012)** Status Quo of Offshore Aquaculture in Germany: a new vision for a "green economy" in the marine realm, Newcastle Seminar, 9th March 2012, Newcastle (UK)
- Buck BH (2012)** Status Quo of Offshore Aquaculture in Germany: a new vision for a "green economy" in the marine realm, 3rd Marine Board Forum "New technologies for a blue future", Brussels (Belgium)
- Buck BH (2011)** Current Research in Aquaculture Cooperation between Istanbul University and Bremerhaven University of Applied Sciences, Istanbul (Turkey)
- Buck BH (2011)** Die Zukunft der Fischzucht: Offshore Aquakulturen. University of Fish, Hamburg (Germany)
- Buck BH (2011)** Macroalgal cultivation in the North Sea: Experiences in Germany and Perspectives. 5th International Algae Congress, Berlin (Germany)
- Buck BH (2011)** Status Quo Aquakultur Expertenrunde WBGU, Berlin (Germany)
- Buck BH (2011)** Offshore Aquaculture Developments in Germany Science Symposium, NFRDI, 9th August 2011, Gangneung (Korea)
- Buck BH (2011)** Aquaculture in Germany and the Status Quo of Offshore Aquaculture: a new vision for a "green economy" in the marine realm International Conference on Regional Aquaculture Activities and Potential Research Collaboration, 8th August 2011, NFRDI, Busan (Korea)
- Buck BH (2011)** Marine Biotechnology in Germany: Aquaculture in the Open Ocean King Mongkut's University of Technology North Bangkok (KMUTNB), 2nd August 2011, Bangkok (Thailand)
- Buck BH (2011)** Offshore-Aquakultur in Windparks: Stand der Forschung und Möglichkeiten in Deutschland 1. Fischwirtschaftsgipfel, 30. Juni - 1. Juli 2011, Hotel Atlantic Kempinski, Hamburg (Germany)
- Buck BH (2011)** Opportunities and progress towards a new vision for a "green economy" in the marine realm: multi-use interaction of offshore wind farms and open ocean aquaculture, Marine Protected Areas: Aspiration or Reality? April 7th 2011, London (UK)
- Buck BH (2010)** Offshore culture of macroalgae and shellfish, Workshop on perspectives for offshore aquaculture in Denmark. DTU-Campus Building 101, 16 Dec. 2010, Copenhagen/Lyngby (Denmark)
- Buck BH (2010)** Aus dem Meer frisch auf den Tisch – Nutzung von Offshore-Gebieten für Aquakulturen, Maritime Woche an der Weser, 25. September - 3. Oktober 2010. Haus der Wissenschaft, Bremen (Germany)
- Buck BH (2010)** Meeting the quest for spatial efficiency: Progress and prospects of extensive aquaculture within offshore wind farms in Europe, ICES Annual Science Conference, 20-24 September 2010, Nantes (France)
- Buck BH (2010)** Meeting the quest for spatial efficiency: Progress & prospects of extensive aquaculture within offshore wind farms in Europe, Offshore Mariculture 2010. June 16th-17th 2010, Dubrovnik (Croatia)
- Buck BH, Michler-Cieluch T, Brenner M, Pogoda B, Weiss M (2012)** Options to Combine Wind Energy Production with Aquaculture: Experiences in Europe Aquaculture Forum Bremerhaven, 25-26th March 2012, Bremerhaven (Germany)
- Buck BH, Franz B, Goseberg N, Stahlmann A, Schlurmann T (2011)** Multiple Nutzung und Co-Management von Offshore-Strukturen: Marine Aquakultur und Offshore Windparks, 8. FZK Kolloquium, "Maritimer Wasserbau und Küsteningenieurwesen", 10 März 2011, Forschungszentrum Küste (FZK), Hannover (Germany)

Ebeling M, Buck BH (2012) Offshore Multi-Use Concepts: Feasibility and Constraints of Wind Farming and Aquaculture, North Atlantic Seafood Forum, 6th March 2012, Oslo (Norway)

Schmidt J, Buck BH (2011) Open Ocean Multi Use: International Conference on Regional Aquaculture Activities and Potential Research Collaboration, 8th August 2011, NFRDI, Busan (Korea).

Schmidt J (2011) Wind farm-based fish farming - Candidate selection for the North Sea: 1st International Conference on Marine Resources and Beyond, Session on Mariculture Innovations: Recirculating Aquaculture System, 5-7 September 2011, Bremerhaven (Germany).

10.5.4 Workshops

Stakeholder-Workshop zu dem Thema „Fischzucht in Offshore-Windparks“, 7. September 2011, Institut für Marine Ressourcen (IMARE) GmbH (Bremerhaven) siehe auch Anhang VII Kapitel 7.5