

Endbericht (Sachbericht) des Projektes „NutriMat“

Titel: Analyse der Nutzungsmöglichkeiten von biologischem Aufwuchs von künstlichen Hartsubstraten für die Gewinnung alternativer Protein- und Lipidressourcen

Kurztitel: *NutriMat*: **Nutritional Material** from Fouling Organisms

Vorgelegt von:

Dr. Monika Weiss
imare – Marine Aquakultur
Bussestraße 27
27570 Bremerhaven
Phone: 0471 4831 2731
Mobile: 0179 50 65 118
e-mail: Monika.Weiss@imare.de

imare
Institut für Marine Ressourcen GmbH

Bremerhavener Gesellschaft
für Investitionsförderung
und Stadtentwicklung mbH

b!s

Inhalt

Teilvorhaben IMARE.....	4
1. Darstellung der Durchführung des Vorhabens	4
Taucheinsätze.....	4
Aufwuchsanalyse und Muschelqualität und-quantität.....	7
Fütterungsversuche.....	8
2. Zusammenfassung der Ergebnisse	15
Ausfahrten Alpha Ventus Windpark	15
Aufwuchsanalyse und Muschelqualität und –quantität	16
Fütterungsversuche.....	22
3. Wirtschaftliches Ergebnis des Vorhabens.....	28
Ausblick für weitere Untersuchungen aus Sicht der Aquakultur	28
Literatur	28
Teilvorhaben Hochschule.....	30
1. Darstellung der Durchführung des Vorhabens	30
Probenmaterial	30
Fettsäureanalytik.....	32
Schwermetallanalytik	32
2. Zusammenfassung der Ergebnisse	32
Fettsäurezusammensetzung.....	32
Schwermetallanalytik	37
Aminosäureanalytik.....	42
3. Wirtschaftliches Ergebnis des Vorhabens.....	44
Teilvorhaben Greim Fish Consulting.....	45
1. und 2. Durchführung des Vorhabens und Zusammenfassung der Ergebnisse.....	45
Geschäftsmodell.....	45
Basisannahmen für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	45
Erzeugung und Marktübersicht für Miesmuscheln in Deutschland/ Marktchancen	47
Abschätzung der Verkaufserlöse	49

Kalkulation der Verkaufserlöse.....	51
Investitionen	54
Betriebskosten	55
Abschätzung der Wirtschaftlichkeit - Discounted Cash Flow Methode und Pay back Periode	58
3. Wirtschaftliches Ergebnis des Vorhabens.....	63
Beurteilung der Wirtschaftlichkeit	63
Zusammenfassung.....	64
Empfehlung	64
Teilvorhaben Schoppenhauer	65
1. Darstellung der Durchführung des Vorhabens	65
Durchführung	65
2. Zusammenfassung des Ergebnis.....	70
3. Wirtschaftliches Ergebnis des Vorhabens.....	70
Teilvorhaben WeserWind GmbH Offshore Construction Georgsmarienhütte	71
1. Darstellung der Durchführung des Vorhabens	71
Entwicklung eines Sicherheits- und Ablaufplans (AP1).....	71
Durchführung der Untersuchung-in wie weit und ob Biobewuchs auf Gründungsstrukturen schädlich wirkt (AP2)	83
Erstellung eines Grobkonzeptes zur Entwicklung eines Erntegerätes (AP3)	90
2. Zusammenfassung der Ergebnisse	95
Auswertung der Untersuchung-in wie weit und ob Biobewuchs auf Gründungsstrukturen schädlich wirkt (AP2)	95
Grobkonzepte zur Entwicklung eines Erntegerätes (AP3)	127
3. Zusätzliche Informationen zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	149
Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Korrosionsschäden	149
Formelzeichen	154
Literatur	155

Teilvorhaben IMARE

1. Darstellung der Durchführung des Vorhabens

Gegenstand und Ziel des Projektes *NutriMat* ist, die Eignung und Qualität des Aufwuchses an den Gründungsstrukturen von Offshore-Windkraftanlagen als alternative Protein- und Lipidressource für die Aquakultur zu untersuchen, sowie ein geeignetes Ernte- und Verarbeitungsverfahren zu entwickeln.

Die Aufgabe des *imare* innerhalb des Projektes lag zum einen darin, Miesmuscheln für eine weitere Verarbeitung und Analyse zu gewinnen und deren Qualität zu beurteilen, den Aufwuchs und die Korrosion an bestehenden Windkraftanlagen zu bewerten und Fütterungsversuche mit Miesmuschel enthaltenden Futtermitteln an aquakulturrelevanten Zuchtfischen durchzuführen und zu bewerten.

Taucheinsätze

Taucheinsätze Miesmuschelernte

Ziel des Arbeitspaketes war, die notwendigen Taucheinsätze zu planen und zu koordinieren, um die Gewinnung von Probenmaterial und Rohmaterial für die Muschelmehlherstellung zu gewährleisten und die Gründungsstrukturen auf Korrosionsschäden hin zu überprüfen.

Für die Planung der Taucheinsätze war es notwendig, ein Team aus staatlich geprüften Forschungstauchern zusammenzustellen. Jeder Taucher muss für seine Einsatzfähigkeit, eine medizinische Untersuchung (G31 laut Berufsgenossenschaft), einen aktuellen erste Hilfe Kurs und eine gewisse Anzahl an Tauchstunden vorweisen. Für jeden Taucheinsatz muss entsprechend Schiffszeit gebucht werden, und ein Genehmigungsverfahren durchlaufen werden, welches auch die Vorlage einer tauchplatzspezifischen Gefahrenanalyse beinhaltet. Des Weiteren muss das Tauchteam mit der vorgeschriebenen Sicherheitsausrüstung und dem notwendigen Arbeitsmaterial ausgestattet werden.

Die Gewinnung des Rohmaterials für Muschelmehlherstellung und die Verarbeitungsversuche der Fa. Schoppenhauer fanden in vier Ausfahrten zum Leuchtturm „Roter Sand“ und in weiteren vier Taucheinsätzen auf der Insel Helgoland statt (s. Abb. 1).

Ausfahrten Alpha Ventus Windpark

Des Weiteren sollte ein Monitoring zur Überprüfung von Gründungsstrukturen stattfinden, die bereits über einen längeren Zeitraum installiert sind. Hierbei sollte ein besonderes Augenmerk auf Korrosionsschäden und den derzeitigen Status des Aufwuchses gelegt werden. Außerdem sollte die Quantität der an Gründungsstrukturen wachsenden Miesmuscheln bestimmt werden. Hierzu wurden zwei Ausfahrten zum Windpark Alpha Ventus unternommen. Die Taucharbeiten wurden auf Grund einer Erleichterung des Genehmigungsverfahrens von der Fa. Datadiving durchgeführt und vom *imare* wissenschaftlich begleitet.

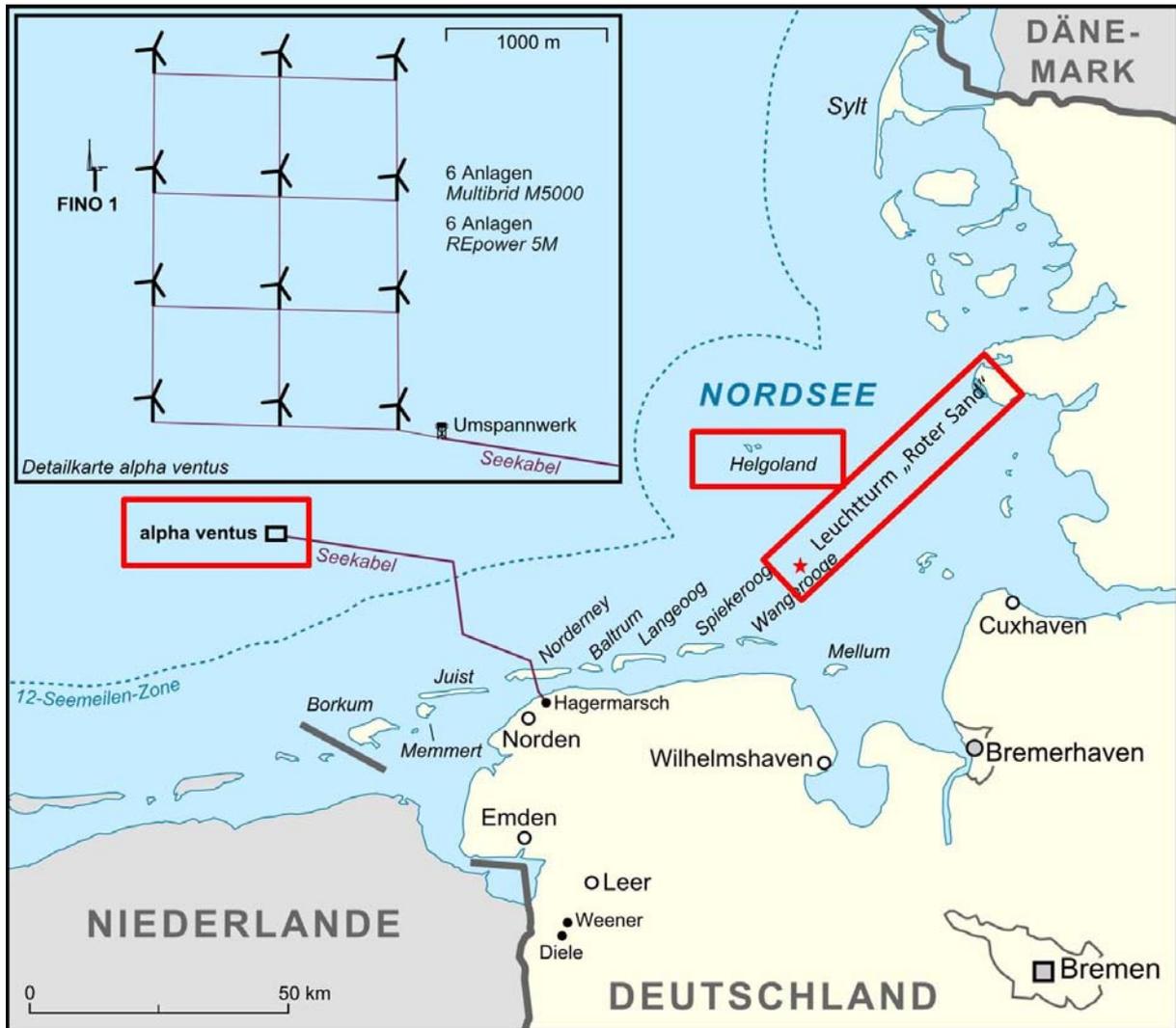


Abb. 1: Kennzeichnung der Orte der Probenahmen innerhalb des Projektes. A) alpha ventus: Kratzproben, Bewuchsdicke, Fotos, B) Helgoland und C) Leuchtturm „Roter Sand“: Ernte von Miesmuscheln zur Herstellung von Muschelmehl und für die Verarbeitungsversuche der Firma Schoppenhauer.

Die Ausfahrten fanden vom 11. bis 14.04.2012 (Frühjahr) und vom 18. bis 21.10.2012 (Herbst) statt und wurden mit dem Forschungsschiff Schall durchgeführt. Der Windpark alpha ventus liegt 45 km nördlich von Borkum und die Anlagen sind in einer Wassertiefe von 30 m errichtet. Insgesamt wurden bei beiden Ausfahrten jeweils vier Anlagen beprobt (AV 1, AV 6 (Jacketstrukturen), AV 7, AV 12 (Tripods), s. Abb. 2). Die Beprobungen fanden an jeder Anlage in 1, 5 und 9m Wassertiefe statt. Die Arbeiten wurden von schlauchversorgten Tauchern, die mit einer Sprechverbindung mit dem Taucheinsatzleiter verbunden waren, durchgeführt.

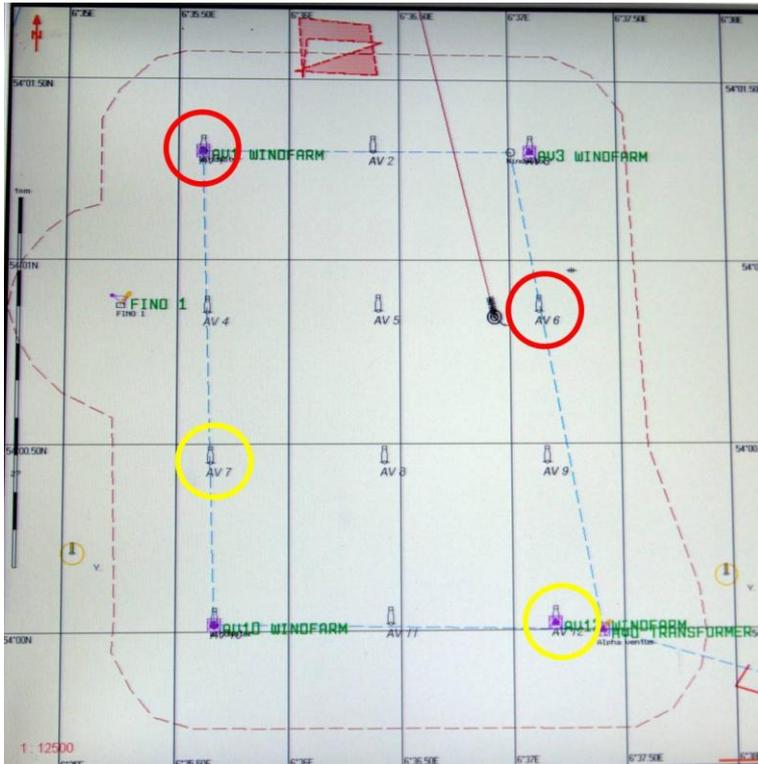


Abb. 2: Lagekartekarte des Windparks alpha ventus. Die Kreise zeigen, von welchen Anlagen Proben genommen wurden, hierbei sind die roten Kreise Jacketstrukturen, die gelben Kreise indizieren Tripoden.

Durchgeführte Arbeiten

Für die Beprobung der Aufwuchsgemeinschaft wurde ein Kratznetz verwendet (Abb. 3), mit dessen Hilfe der Bewuchs von einer quadratischen Fläche von 20 x 20 cm abgekratzt und in einem Netz aufgefangen wurde. Bei den 5 m und 9 m Probenahmen wurden wenn möglich qualitativ Miesmuscheln für weitere Analysen (Bakterienbelastung, Makroparasiten, Schwermetalle) zugefügt. Zusätzlich wurde die Schichtdicke des Bewuchses pro Tiefe an drei verschiedenen Orten gemessen und über die Sprechverbindung dem Taucheinsatzleiter durchgegeben. Des Weiteren wurde pro Tiefe jeweils ein Bild vom Aufwuchs und von der gereinigten Fläche aufgenommen. Hierzu wurde ein 20 x 20 cm großer Rahmen vor die Kamera gesetzt, um eine definierte Fläche immer im gleichen Abstand fotografieren zu können.

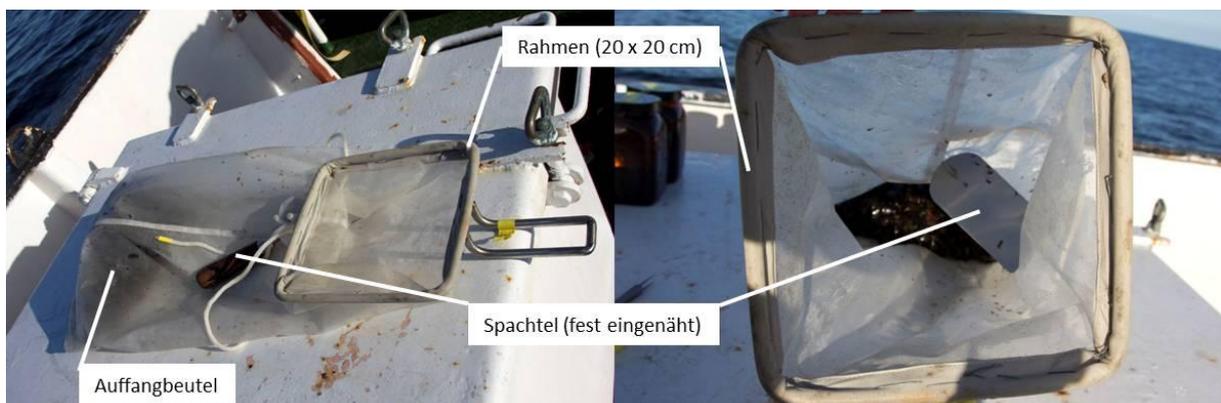


Abb. 3: Kratznetz zur Beprobung des Aufwuchses an den Gründungsstrukturen der Windkraftanlagen im Windpark alpha ventus.

Versorgung der Proben

Die Proben wurden zunächst an Bord des Beibootes mit Seewasser versorgt. An Bord der Schall wurden die Proben dann aus den Kratznetzen in Siebe gespült. Maximal 40 Miesmuscheln wurden als Lebendproben in Eimern bis zur Rückkehr mit Seewasser versorgt. Diese Muscheln dienten der Untersuchung auf Belastung mit pathogenen Keimen und Makroparasiten. Weitere maximal 30 Miesmuscheln wurden mit einer Bürste von Aufwuchs befreit und separat eingefroren. An diesen Proben wurde eine Schwermetallanalyse durchgeführt. Die verbleibende Kratzprobe wurde ebenfalls eingefroren und im Labor kalorimetrisch auf ihren Energiegehalt hin untersucht.

Aufwuchsanalyse und Muschelqualität und-quantität

Die während der Ausfahrten und Tauchgänge gewonnenen Aufwuchs- und Miesmuschelproben, sowie das gewonnene Bildmaterial der verschiedenen Standorte werden analysiert und die Ergebnisse statistisch ausgewertet.

Die Qualität der im Windpark alpha ventus gewonnenen Miesmuscheln wurde analysiert. Hierfür wurde die Belastung der Muscheln durch pathogene Keime und Makroparasiten untersucht sowie der Konditionsfaktor der Muscheln bestimmt.

Miesmuschelqualität

Pathogene

Die Muscheln aller Probenahmeorte und Tiefen der Frühjahrsausfahrt wurden im S2 Labor des Technologie-Transfer-Zentrums Bremerhaven auf ihre Belastung mit *E. coli* und anderen coliformen Bakterien untersucht. Vorbereitend wurden die Muscheln gesäubert, geöffnet und das gesamte innere der Muschel herauspräpariert. Für eine 1:10-Verdünnung wurde dem Muschelfleisch das 9-fache einer Kochsalzlösung (8 g NaCl auf 1 l Aquadest) zugeführt. In dieser Mischung wurde das Muschelfleisch steril mechanisch zerkleinert. Die Emulsion wurde zweimal weiter verdünnt (1:100 und 1:1000) und jede Probe in jeder Verdünnung in drei Replikaten auf Agarplatten (*E. coli* Selektivagar) ausgestrichen. Die Agarplatten wurden 24 Stunden bei 37° C bebrütet und anschließend die entstandenen Bakterienkolonien ausgezählt.

Konditionsfaktor und Makroparasiten

Zur Untersuchung des allgemeinen Gesundheitszustandes der Miesmuscheln wurden pro beprobter Anlage 10 Miesmuscheln aus 1 m Wassertiefe näher betrachtet. Zunächst wurde jede Muschel geöffnet und einer eingehenden Sichtung auf aufwachsende Organismen, Färbung des Fleisches und evtl. sichtbare Makroparasiten (*Polydora ciliata*) unterzogen. Hiernach wurde die Muschel gewogen, relevante Gewebe herauspräpariert (Fuß, Muskel, Mitteldarmdrüse) und auf einem Kompressorium (Abb. 4) zerkleinert, ein Quetschpräparat hergestellt und unter einem Stereomikroskop auf Makroparasiten untersucht. Die Schale wurde vom restlichen Gewebe befreit, die innere Schale auf Veränderungen durch Makroparasiten untersucht und wiederum gewogen, um den Fleischanteil der Muscheln bestimmen zu können.



Abb. 4: Vorbereitung eines Quetschpräparats auf einem Kompressorium zur Untersuchung verschiedener Gewebetypen (von links nach rechts: Muskel, Mitteldarmdrüse, Fuß) auf Makroparasiten.

Der Condition Index (CI) der Miesmuscheln wurde wie folgt berechnet:

$$CI = \frac{\text{Nassgewicht Muschelfleisch [g]}}{\text{Schalengewicht [g]}} \times 100$$

Aufwuchs

Dicke

Alle untersuchten Anlagen wiesen in den beprobten Tiefen einen dichten Bewuchs auf. Die Stärke dieses Bewuchses wurde pro Tiefe drei Mal an verschiedenen Stellen mit Hilfe eines Lineals gemessen und der Wert per Sprechverbindung an die Bordcrew weitergegeben und notiert.

Zusammensetzung (Bildanalyse)

Nach einer allgemeinen Betrachtung der vorkommenden Organismen, wurde ein Raster über jedes Bild gelegt (3 pro Tiefe und Anlage) und die prozentuale Bedeckung durch die Organismen bestimmt. Durch offensichtliches Übereinander wachsen kann das Gesamtergebnis hierbei über 100% betragen.

Korrosion (Bildanalyse)

Für die Betrachtung etwaiger Korrosionsschäden wurden alle Bilder der Anlage nach Entfernen des Aufwuchses näher betrachtet.

Fütterungsversuche

In Fütterungsversuchen wurde die Verwendbarkeit des Muschelmehls als teilweiser Fischmehlersatz bei der Zucht von Organismen in der Aquakultur getestet. Als Kandidaten wurden abweichend zum Antrag statt Dorsch und Meerforelle, Steinbutt und Seezunge verwendet, da diese hohe Marktpreise erbringen und daher auch für die Aquakultur in Rezirkulationsanlagen geeignet sind und im Fall der Seezunge außerdem derzeitiger Forschungsbedarf im Bereich der Juvenilen-Aufzucht besteht.

Nach der Auswertung der Daten des 1. Fütterungsversuches am Steinbutt wurde beschlossen, einen weiteren Fütterungsversuch mit dieser Spezies durchzuführen. Da die Ergebnisse nicht den Erwartungen entsprachen, sollte in einem weiteren Versuch eine realistische Menge des Ersatzstoffes ermittelt werden, um ein möglichst anwendbares Ergebnis für das Projekt zu erzielen. Auf Grund dessen wurde in einem 2. Fütterungsversuch am Steinbutt die eingesetzte Menge an Miesmuschelmehl reduziert.

Kurzbeschreibung der Spezies Steinbutt (*Scophthalmus maximus*)

Der Steinbutt ist ein bodenlebender Plattfisch, dessen Verbreitung sich auf den Nordostatlantik begrenzt (von 30° bis 70° Nord und von 23° bis 42° West) (www.fishbase.org) und auch in der Ostsee vorkommt. Sein Nahrungsspektrum umfasst hauptsächlich andere bodenlebende Fische, aber auch größere Krebstiere und Muscheln. Der Steinbutt ist ein „Batch Spawner“ mit Fortpflanzungszeiträumen im April und August. Er kann ein Körpergewicht von bis zu 25 kg erreichen und ist ein beliebter und hochwertiger Speisefisch.

Der Steinbutt wird seit vielen Jahren erfolgreich kultiviert und sein Lebenszyklus kann unter künstlichen Bedingungen vollständig geschlossen werden. Die Aquakultur des Steinbutts begann in Schottland in den 70er Jahren. Zu Beginn der 90er war die Zucht ausgereift genug, um Fischfarmen zu betreiben. Der Steinbutt wird überall in Europa produziert (insgesamt 5000 t), den größten Anteil der Produktion stellt hierbei Spanien (ca. 2500 t) (Danancher & Garcia - Vazques 2007).

Kurzbeschreibung der Spezies Seezunge (*Solea solea*)

Die Seezunge (*Solea solea*) gehört ebenfalls zu den Plattfischen (Pleuronectiformes). Ihre Verbreitungsgebiet erstreckt sich vom östlichen Nordatlantik (südlich des Trondheim Fjords) bis zur westafrikanischen Küste und ins Mittelmeer. Sie bevorzugt küstennahe Gewässer bis zu einer Tiefe von 60 m mit sandigem oder schlickigem Untergrund, damit sie sich zum Schutz und zur Jagd in das Sediment eingraben kann. Die Laichsaison liegt zwischen April und Juni. Die Seezunge laicht in seichten Gewässern bei Temperaturen zwischen 8 und 16°C (Fonds & Saksena 1977). Die Larven sind pelagisch bis zur Metamorphose, die nach ca. 4–6 Wochen (bei einer ungefähren Körperlänge von 14–16 mm) einsetzt. Nach der Metamorphose, bei der die Augen auf die rechte Körperseite wandern, leben die juvenilen Seezungen für die nächsten 2 Jahre in Estuaren oder anderen küstennahen Bereichen (Fonds & Saksena 1977). Die Seezunge wird bis zu 60 cm groß und kann ein Gewicht von 3 kg und ein Alter von über 20 Jahren erreichen. Geschlechtsreif werden die Tiere nach 2–3 Jahren. Sie ernähren sich von Muscheln, Borstenwürmern und Krebstieren (Frank 1998). Adulte Tiere leben bei Temperaturen von 6–24 °C, während Juvenile höhere Temperaturen von 8–26 °C brauchen. Im Herbst wandern die Tiere in tiefere Regionen bis zu 150 m ab und Juvenile stellen für die Wintermonate ihr Wachstum ein. Die Salinitätstoleranz der Seezunge ist recht hoch und liegt im Bereich von 6–60 PSU (Fonds 1976).

Der Marktpreis der Seezunge ist saisonabhängig und variiert zwischen 70 und 100 € pro kg (s. Lachskontor 2013; Send-a-fish 2013; 1afisch 2013). Damit liegt die Seezunge im hochpreisigen Segment.

Bei der Kultur der Seezunge bestehen nach wie vor einige Hindernisse, die bisher eine lukrative Zucht erschweren. So fehlen noch immer kommerzielle, geeignete Futtermittel für bestimmte Lebensphasen (Imsland et al. 2003).

Bezugsquelle der Versuchstiere und Transport

Alle Versuchstiere stammten von der Firma „Maximus A/S“ in Dänemark (www.maximus-fry.dk). Der Betrieb erhält befruchtete Steinbutteier aus Norwegen von „Stolt Seafarms“. Nach dem Schlupf werden die Larven mit Lebendfutter versorgt und nach entsprechender Entwicklung auf kommerzielles Aquakulturfutter umgestellt. Die Setzlinge werden nach Größenklassen sortiert an Mastbetriebe oder Forschungseinrichtungen abgegeben.

Die juvenilen Seezungen sind direkt in der Anlage geschlüpft und stammen von Wildtieren, die von Fischern küstennah gefangen wurden. Ende November 2011 wurden juvenile Steinbutte mit einem Durchschnittsgewicht von ca. 20 g pro Individuum und im Juli 2012 außerdem 1000 junge Seezungen mit einem Alter von ca. 56 DAH (days after hatching) von Mitarbeitern des *imare* von der Zuchtstation am Limfjord (DK) nach Bremerhaven transportiert. Der Transport fand in einem Transporttank mit frischem Seewasser unter stetiger Sauerstoffversorgung statt. Nach angemessener Akklimierung wurden die Tiere ohne Verluste in das Kreislaufsystem des Zentrums für Aquakulturforschung (ZAF) überführt.

Kreislaufsystem und Versuchsdesign - Steinbutt

Die Fütterungsversuche wurden in einem komplett geschlossenen Kreislaufsystem mit zentraler Wasseraufbereitung der Becken durchgeführt, so dass in allen Becken gleiche Kulturbedingungen herrschten. Jedes der drei Becken (2 x 6 m) wurde durch eine Netzkonstruktion in drei gleichgroße Kompartimente geteilt (Abb. 5). Jedes Kompartiment ist mit einem eigenen Wasserzulauf versehen, während sich der Wasserablauf zentral im mittleren Becken am Boden befindet. Das Versuchsdesign (Abb. 5) wurde so gewählt, dass systematische Fehler durch die Position vermieden werden können. In beiden Fütterungsexperimenten wurden das Wachstum und die Sterblichkeit der Fische acht Wochen lang beobachtet. Hierzu wurden die Fische alle zwei Wochen gemessen und gewogen.

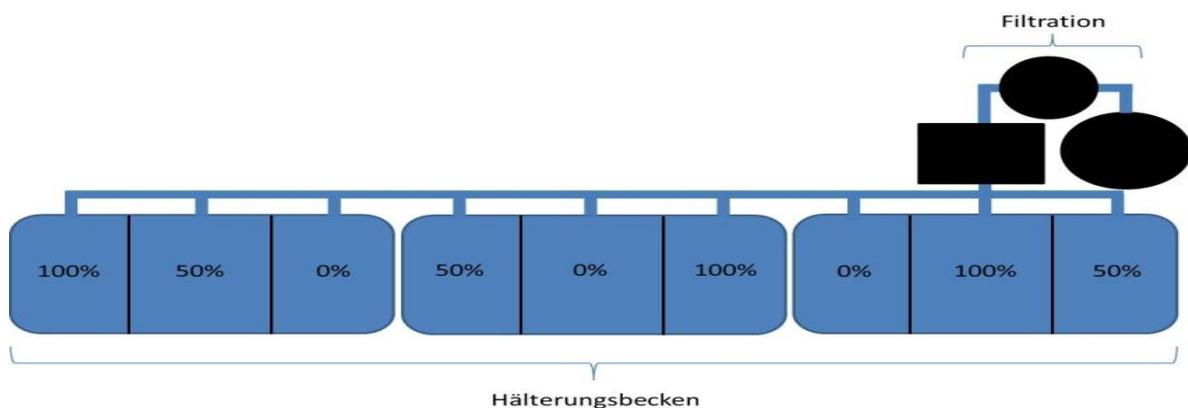


Abb. 5: Für den Fütterungsversuch verwendeter Kreislauf mit schematisch dargestellter Filtrationseinheit. Der Versuchsaufbau besteht aus drei Becken die jeweils in drei Kompartimente unterteilt sind. Jedes Kompartiment verfügt über einen eigenen Wasserzufluss, der Abfluss liegt jeweils im mittleren Kompartiment der Becken. Um einen systematischen Fehler zu vermeiden, wurden die Fische entsprechend dem abgebildeten Schema gefüttert. Hierbei bedeutet: 100 % - Futter mit 100 % Miesmuschelmehl statt Fischmehl, 50 % - Futter mit 50 % Miesmuschelmehl und 50 % Fischmehl, 0 % - 0 % Miesmuschelmehl, 100 % Fischmehl.

Kreislaufsystem und Versuchsdesign - Seezunge

Die Fütterungsexperimente wurden in Maurerwannen ($\sim \varnothing 60$ cm x 33 cm Höhe) durchgeführt, in die jeweils 3 mit Gaze versehene Löcher für den Wasseraustausch mit dem umgebenden Tank (1 x 1 x 1 m) geschnitten wurden (Abb. 6). Sie wurden mit Hilfe von Auftriebskörpern an der

Wasseroberfläche gehalten. Pro Tank wurden drei Maurerwannen eingesetzt. Die sie umgebenden Tanks sind Teil eines Rezirkulationssystems bestehend aus drei Tanks und einer Wasseraufbereitung. Die juvenilen Seezungen wurden in drei Fütterungsgruppen aufgeteilt. Hierbei bestand eine Diät zu 100 % aus Muschelmehl, eine zweite aus 50 % Muschelmehl und 50 % Minipro 4 (Seagarden AS, Norway, Partikelgröße 250 µm) und eine dritte Diät aus 100% Minipro 4. Die Fütterungsgruppen bestanden aus 26–30 Individuen und pro Tank wurde jeweils drei Mal täglich eines der Futtermittel gefüttert. Das Experiment wurde über sechs Wochen durchgeführt, wobei täglich die Sterblichkeit und alle zwei Wochen das Wachstum der Fische aufgenommen wurden.

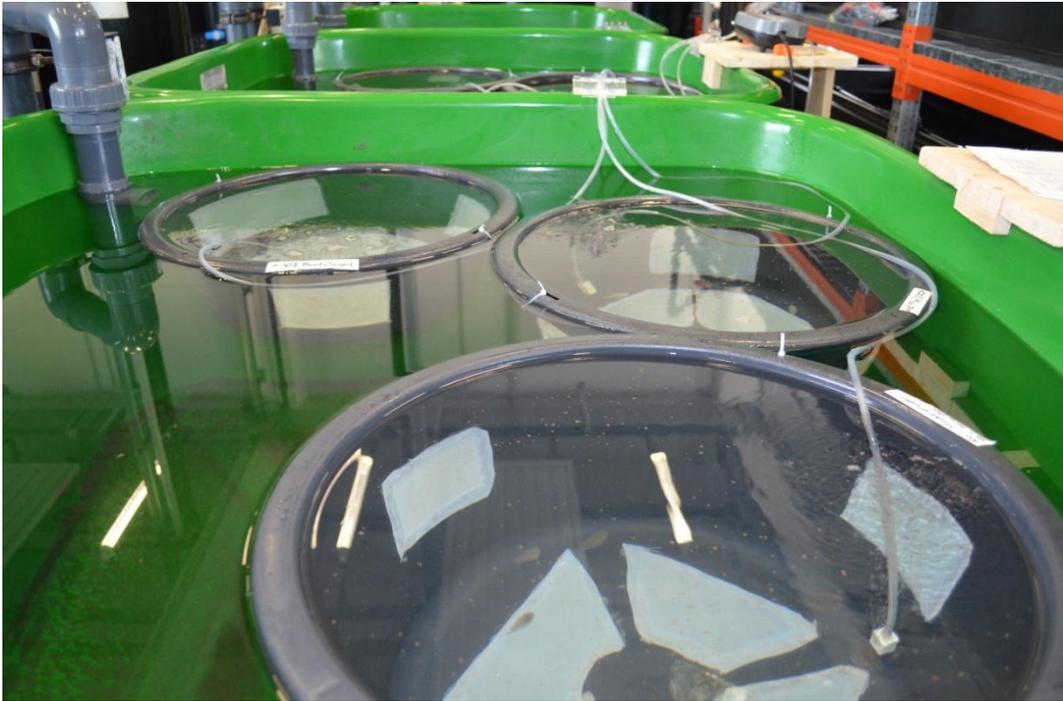


Abb.6: Versuchsaufbau für den Fütterungsversuch an der Seezunge. Drei Maurerwannen pro Becken, mit Gaze versehene Öffnungen für den Wasseraustausch, extra Belüftung mit je einem Ausströmer pro Wanne.

Herstellung Miesmuschelmehl

Im September 2011 wurden Miesmuscheln auf der Insel Helgoland geerntet. Dieser Standort wurde gewählt, da im Helgoländer Vorhafen zwar die Wasserparameter betreffend Offshore Konditionen herrschen, aber das ganze Jahr hindurch gefahrlos Taucheinsätze durchgeführt werden können. Die Muscheln wurden von Tauchern am WSA Anleger und am Tauchponton geerntet und in Transportboxen mit ständigem Seewasserzufluss mit dem Forschungskutter Uthörn des Alfred-Wegener-Instituts über Nacht nach Bremerhaven gebracht. Hier wurden die Muscheln gründlich gesäubert und von Aufwuchs befreit und bei -20 °C bis zur weiteren Verarbeitung eingefroren.

Portionsweise wurden die Muscheln aufgetaut und per Hand das Muschelfleisch von der Schale getrennt. Das Muschelfleisch wurde in einem Trockenofen (Thermo Scientific Heraeus Oven) bei 60 °C schonend über zwei Tage hinweg getrocknet und in einem Exsikkator aufbewahrt. Mit Hilfe einer Messermühle für Laborzwecke der Firma Retsch (Grindomix GM 200) wurde das Muschelfleisch zu Mehl verarbeitet. Hierfür wurden zwei unterschiedliche Programme nacheinander gefahren, wobei das getrocknete Muschelfleisch zuerst 1 min bei 4000 rpm in Intervallen und danach 1 min bei 5000 rpm durchgehend gemahlen wurde, um ein sehr homogenes Mehl zu produzieren.

Herstellung Futtermittel – Steinbutt

Die Zusammensetzung der getesteten Futtermittel wurde in Anlehnung an Rezepte aus Corraze (2001) und Regost et al. (2003) gewählt. Um die Akzeptanz und Verwertbarkeit von Miesmuschelmehl im Futter zu testen, wurden für 2 Experimente (A und B) jeweils 3 verschiedene Futtermittel hergestellt. Ein Futter enthielt ausschließlich Fischmehl, im zweiten Futter wurde das Fischmehl zur Hälfte und im dritten Futtermittel vollständig durch Miesmuschelmehl ersetzt. Das Rezept ist Tabelle 1 zu entnehmen. Die Futterpellets wurden nach den angegebenen Rezepten von der Firma Altromin Spezialfutter GmbH & Co KG hergestellt, da nur durch eine maschinelle Verarbeitung der Rohmaterialien eine homogene Nährstoffverteilung garantiert werden kann.

Tab. 1: Rezepturen der drei getesteten Futtermittel für Experiment A mit 0, 50 und 100 % Miesmuschelmehl als Ersatz für Fischmehl und für Experiment B mit 0, 10 und 25 % Miesmuschelmehl als Ersatz für alle Fischmehlprodukte. Der Energiegehalt ist angegeben als Mittelwert \pm Standardabweichung (MW \pm SD).

	Experiment A			Experiment B		
Futtermittel	0%	50%	100%	0%	10%	25%
Rohstoff :	Anteil pro kg (g)					
Muschelmehl	0	150	300	0	45	113
Fischmehl 64	300	150	0	300	270	225
Fischmehl 70 = CPSP	150	150	150	150	135	113
Sojaschrot HP 45%	100	100	100	100	100	100
Weizenmehl	295	295	295	295	295	295
Vitaminmix	20	20	20	20	20	20
Mineralien + Spurenelemente Mix	10	10	10	10	10	10
Saccharose, raffiniert	25	25	25	25	25	25
Fischöl/Veterinärqualität	100	100	100	100	100	100
Energiegehalt (MJ/kg)	19.76 ± 0.1	19.63 ± 0.03	19.51 ± 0.01	18.95 ± 0.05	18.61 ± 0.05	19.08 ± 0.01

Herstellung Futtermittel - Seezunge

Als Basis-Futtermittel wurde das mikroenkapsulierte Futtermittel Minipro 4 der norwegischen Firma Seagarden verwendet. Hierbei handelt es sich um ein hochqualitatives Startfutter für Shrimp- und Fischlarven und ermöglicht bestmögliche Wachstums und Überlebensraten. Da dieses Aufzuchtfutter eine Korngröße von 250 μm hat und damit im Korngrößenbereich des Miesmuschelmehls lag, musste keine Pelletierung der Nahrung durchgeführt werden. Die Futtermittel wurden lediglich anteilig vermengt. Die drei Fütterungsgruppen erhielten A) 100 % Minipro, B) 50 % Minipro + 50 % Miesmuschelmehl, C) 100 % Miesmuschelmehl.

Datenerhebung

Wasserparameter

Gelöste Nährstoffverbindungen ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$, NO_2^- , NO_3^-)

Die Menge der gelösten Stickstoffverbindungen im Wasser wurde nasschemisch durch Pulverkissenverfahren für die einzelnen Nährstoffe photometrisch ermittelt (Hach-Lange-Photometer HR2800). Hierfür wurden regelmäßig Proben aus den Hälterungsbecken des Kreislaufes entnommen und analysiert.

Abiotische Faktoren (T, S, O₂, pH, Redox)

Die abiotischen Parameter wurden kontinuierlich durch die dem Kreislauf zugehörigen Messsonden und der Prozesssteuerung erfasst und gespeichert. Sauerstoffsättigung (%) und Temperatur (°C) wurden an Hand einer Clark-Sonde optisch bestimmt, der Salzgehalt (mS cm⁻¹) mit Hilfe einer Leitfähigkeitssonde gemessen, der pH Wert wurde mit einer pH-Sonde bestimmt, es handelt sich hierbei um den einheitslosen negativen dekadischen Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration.

Stressoren (Licht, Schall, Bewegung)

Schon vor Versuchsbeginn wurden mögliche weitere beeinflussende Faktoren sondiert, die das Wachstum beeinflussen können. Hierzu zählen Lichteinfall, der Einfluss von Schall sowie Bewegung um die Becken herum. Auf Grund der Versuchsanordnung können diese Einflüsse statistisch abgeschätzt werden.

Futtermenge

Sowohl vor Versuchsbeginn als auch vor den Messtagen fand keine Fütterung der Versuchstiere statt. An den Tagen der Messungen bekamen die Fische nach einer kurzen Beruhigungsphase die Hälfte der täglichen Fütterungsrate der vergangenen Fütterungsetappe, ansonsten wurde täglich gefüttert. Die Futtermenge wurde in 2-wöchigen Stufen der Biomasse angepasst und betrug in Versuch A 3 % der pro Kompartiment enthaltenen Biomasse. Die Futtermenge von 3 % der Biomasse entsprach quasi einer ad libitum Fütterung, wobei wenig bis kein Futter im Becken zurückblieb. Versuch 2 wurde mit 3 % begonnen, aber im Verlauf des Versuchs auf 1,5% der Biomasse reduziert, da die Futteraufnahme geringer war. Auch die Seezungen wurden mit 3 % der Biomasse gefüttert.

Wachstum

Für alle Versuche wurde vor Versuchsbeginn und an den Messtagen das Gewicht und die Länge aller am Versuch beteiligten Fische ermittelt. Hierfür wurden alle Fische den Becken entnommen und individuell gewogen (Steinbutt: Söhnle Professional, max 30 kg, Genauigkeit laut Hersteller ±10 g; Seezunge: Satorius, CPA324S-OCE; max 320 g, Genauigkeit laut Hersteller ± 0,1 mg). Nach dem Wiegen wurde die Totallänge der einzelnen Tiere auf einem Messbrett ermittelt (Abb. 7), wobei die Tiere mit der Maulseite an die Nullmarkierung des Messbrettes gelegt wurden und an der ausgestrichenen Schwanzflosse die Länge des Tieres um max 0,25 cm gerundet wurde. Die Länge der Seezunge wurde mit der Genauigkeit von ± 1 mm auf einem Lineal ermittelt.

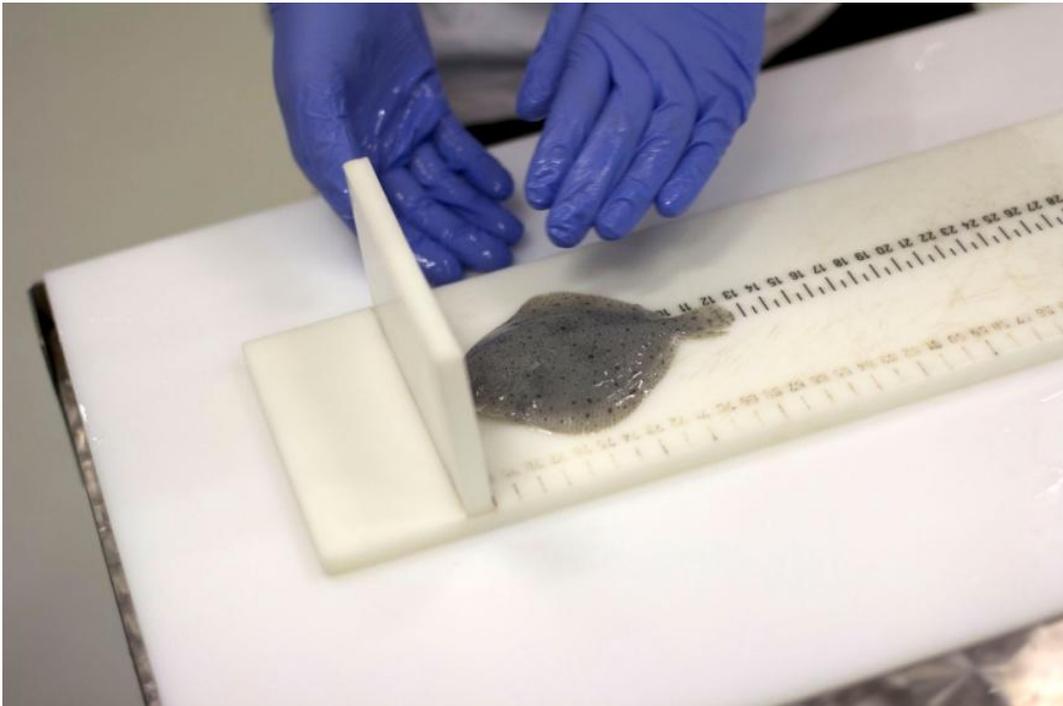


Abb. 7: Ermittlung der Totallänge eines Fisches auf einem Messbrett

Nach einer Versuchsdauer von acht Wochen fanden in Versuch A und B die finalen Probenahmen statt, wobei die Tiere nicht nur gewogen und vermessen wurden, sondern auch pro Kompartiment drei Tiere mit Nelkenöl sediert, getötet und präpariert wurden. Hierbei wurde auch das Gewicht der Leber zur Bestimmung des HSI (Hepatosomatischer Index) entnommen und gewogen. Des Weiteren wurden pro Kompartiment drei Fische getötet und ausgenommen und für spätere sensorische Tests eingefroren.

Datenanalyse und Statistik

Zur Ermittlung des Gesundheitszustandes der Fische, deren Ernährungszustand und der Futtermittelverwertbarkeit wurden verschiedene relevante Indices berechnet.

Der Hepatosomatische Index lässt Schlüsse auf den Ernährungszustand der Fische zu und wird wie folgt berechnet:

$$\text{HSI} = (\text{Lebergewicht} / \text{Körpergewicht}) \times 100 \quad (1)$$

Um die Produktionsrate eines Fisches nach einer bestimmten Zeitspanne zu bestimmen, wird in der Aquakultur die Spezifische Wachstumsrate (SGR) bestimmt.

$$\text{SGR} = ((\ln W_2) - (\ln W_1)) / D \times 100 \quad (2)$$

Wobei W_1 und W_2 das mittlere Anfangs- und Endgewicht (g) repräsentieren und D die Anzahl der Versuchstage darstellt.

Die relative Robustheit oder der Grad des Wohlergehens eines Fisches wird durch den Fulton'schen Konditionsfaktor (CF) ausgedrückt:

$$\text{CF} = (\text{g Nassgewicht}) \times 100 / (\text{cm Länge})^3 \quad (3)$$

Die Futterkonversionsrate (FCR) ist die Zunahme an Körpergewicht pro aufgenommener Futtermenge.

$$FCR = (\text{feed weight} / \text{wet weight gain}) \quad (4)$$

Mit Hilfe des Programmes „jmp“ wurden die erhobenen Wachstumsdaten beider Versuche statistisch untersucht. Der Effekt des Futtermittels auf das Wachstum (Gewicht und Länge) wurde mit Hilfe einer ANOVA ermittelt. Zunächst wurden die Wachstumsdaten (Gewicht und Länge) auf ihre Normalverteilung hin untersucht. Die Daten wurden einer BoxCox Transformation unterzogen (Sokal und Rohlf 1981) um die bestmögliche Transformation zu erreichen um sich einer Normalverteilung der Residuen anzunähern und die Gleichheit der Varianzen anzunähern. Als Post-Hoc-Tests wurden Student-t-Tests durchgeführt.

Die oben genannten Indices (Formel 1-4) wurden mit Hilfe des Programms SigmaPlot statistisch untersucht. Die Auswirkungen der Futtermittel auf HSI, SGR, CF und FCR der Fische wurden mittels ANOVA analysiert. Hierbei wurde die Normalverteilung der Daten mit Hilfe des Shapiro-Wilk-Test geprüft und als Post-Hoc-Test der Tukey-Test angewendet. Bei nicht normalverteilten Daten (CF-Daten von Versuch A und B) wurde die Rangfolge der Werte ermittelt und darauf die ANOVA angewendet.

Analytik Futtermittel

Um die Ergebnisse der Wachstumsversuche eingehender interpretieren zu können, wurde eine Inhaltsanalyse der Futtermittel von Experiment A und B und der Fische von Experiment B durchgeführt. Aus Tabelle 2 wird ersichtlich, dass die Energiegehalte der einzelnen Futtermittel kaum voneinander abweichen. Durch die sehr genaue Bestimmung mittels eines Kalorimeters und der daraus resultierenden geringen Standardabweichung entstehen bei einer statistischen Analyse jedoch Signifikanzen. Statistisch betrachtet hat das 0%-Futter von Experiment A einen signifikant höheren energetischen Wert als die anderen beiden Futtermittel. Die Futtermittel von Experiment B unterscheiden sich alle 3 signifikant voneinander, wobei das 25%-Futter den höchsten energetischen Gehalt und das 10%-Futter den niedrigsten aufweist. Die Abweichungen sind allerdings so gering, dass wir die Futtermittel als isokalorisch angesehen haben.

Tab. 2: Ergebnisse der Inhaltsanalyse der Futtermittel, die für die Fütterungsversuche A und B am Steinbutt eingesetzt wurden. Angegeben sind die Mittelwerte \pm Standardabweichung. Fett gedruckte Werte unterscheiden sich signifikant von den anderen Werten, wobei die Futtermittel eines Experiments gemeinsam getestet wurden.

Versuch	A			B		
Futtermittel	0%	50%	100%	0%	10%	25%
Energiegehalt (MJ/kg)	19.76 ± 0.1	19.63 ± 0.03	19.51 ± 0.01	18.95 ± 0.05	18.61 ± 0.05	19.08 ± 0.01

2. Zusammenfassung der Ergebnisse

Ausfahrten Alpha Ventus Windpark

Beide Ausfahrten zu alpha ventus im Frühjahr und Herbst 2012 sind erfolgreich verlaufen. Während beider Ausfahrten konnten Proben, Bilder und Messungen der Aufwuchsdicke an vier Windenergieanlagen durchgeführt werden.

Aufwuchsanalyse und Muschelqualität und –quantität

Es konnten an allen Anlagen bei verschiedenen Tiefen Muschelproben für weitere Analysen genommen werden.

Miesmuschelqualität

Die Muscheln aller beprobten Anlagen zeigten eine gesunde Schale ohne Aufwuchs von Röhrenwürmern oder ähnlichem. Der einzig vorkommende Aufwuchs waren die auf Abbildung 9 zu erkennenden Algen. Fast durchgängig wiesen die Muscheln eine kräftig orange Fleischfärbung auf.

Pathogene

In allen Proben lagen die Werte für *E. coli* und andere coliforme Bakterien weit unter dem Richtwert von 230 kBE/g (Keller 2009) (Tab. 3). Die Nachweise wurden im Frühjahr durchgeführt, da zu dieser Zeit auf Grund landwirtschaftlicher Aktivitäten und stärkerem Eintrag aus Flüssen mit der höchsten bakteriellen Belastung zu rechnen ist (Brenner et al. 2009). Eine bakterielle Belastung der Miesmuscheln kann dementsprechend ausgeschlossen werden.

Tab. 3: Bakterielle Belastung der Miesmuscheln aus dem Windpark alpha ventus im Frühjahr an vier verschiedenen Anlagen (AV1, AV6, AV7 und AV12) in verschiedenen Tiefen (1, 5 und 9 m). An Anlage AV12 waren in 5 und 9 m Tiefe keine Miesmuscheln vorhanden.

<i>E. coli</i> + andere coliforme Bakterien	
AV1 – 1 m	Weniger als $1,0 \times 10^2$ KbE/ g
AV1 – 5 m	Weniger als $1,0 \times 10^2$ KbE/ g
AV1 – 9 m	Weniger als $1,0 \times 10^2$ KbE/ g
AV6 – 1 m	Weniger als $1,0 \times 10^2$ KbE/ g
AV6 – 5 m	Weniger als $1,0 \times 10^2$ KbE/ g
AV6 – 9 m	Weniger als $1,0 \times 10^2$ KbE/ g
AV7 – 1 m	Weniger als $1,0 \times 10^2$ KbE/ g
AV7 – 5 m	Weniger als $1,0 \times 10^2$ KbE/ g
AV12 – 1 m	Weniger als $1,0 \times 10^2$ KbE/ g

Makroparasiten und Konditionsfaktor

In keiner der untersuchten Muscheln konnten die an den Küsten typischen Makroparasiten wie der Copepode *Mytilicola intestinalis*, der Borstenwurm *Polydora ciliata*, Nematoden oder Metacercarien von Trematoden festgestellt werden (Abb. 8).

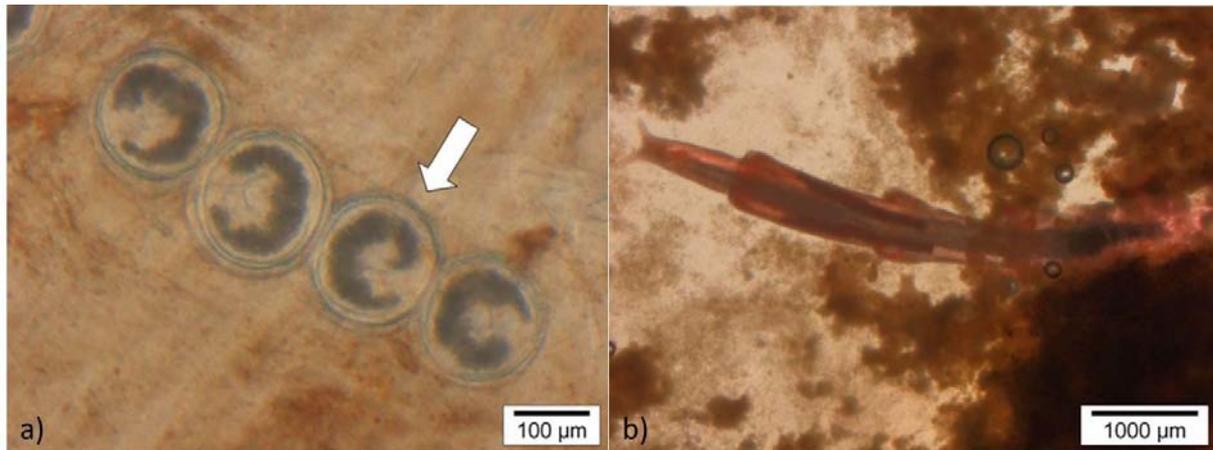


Abb. 8: Typische Makroparasiten in Miesmuscheln. a) Metacercarien des Trematoden *Rencula roscovita*, b) der Copepode *Mytilicola intestinalis*. Bilder: AWI

Der Konditionsindex der Muscheln lag im Mittel bei $110,42 \pm 44,06$ (Abb. 9).

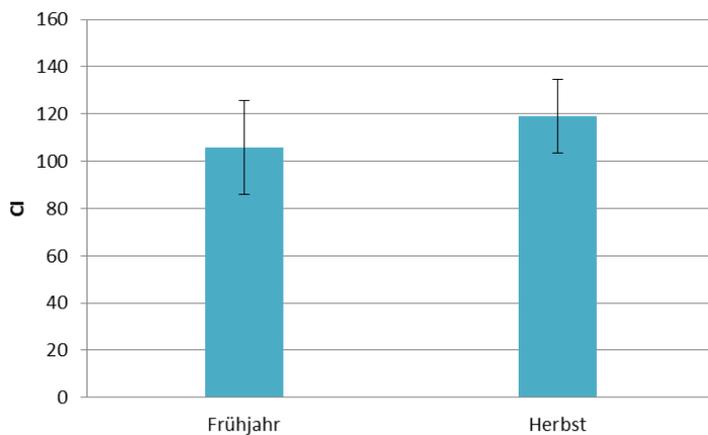


Abb. 9: Konditionsindex der Miesmuscheln vom Windpark alpha ventus im Frühjahr und Herbst 2011. Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung.

Der Vergleich der Konditionsindices mit denen von Miesmuscheln aus dem Intertidal (CI 27.39 bis 39–47) und mit Kulturmuscheln (CI maximal ca. 113,8) (Brenner et al. 2009) zeigt, dass die Muscheln aus dem Offshorebereich des Windparks hervorragende Fleisch zu Schale Verhältnisse aufweisen und damit eine sehr gute Speisemuschelqualität besitzen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die im Offshore Windpark alpha ventus wild gewachsenen Miesmuscheln eine herausragende Qualität aufweisen. Sie sind weder durch pathogene Keime noch durch Makroparasiten belastet und weisen einen sehr viel höheren Fleischanteil auf, als Muscheln aus dem Watt.

Aufwuchs

Dicke

Alle untersuchten Anlagen wiesen in Frühling und Herbst in allen beprobten Tiefen einen dichten Bewuchs auf. Die Stärke dieses Bewuchses variiert jedoch stark in Abhängigkeit von Tiefe, Anlage und Jahreszeit (siehe Abb. 10). Im Frühjahr ist der Aufwuchs in geringen Tiefen um ein vielfaches dicker als bei 5 oder gar bei 9 m Wassertiefe. Wie die Fotos des Aufwuchses belegen (Abb. 11), kommen die hohen Werte in 1 m Wassertiefe durch den Aufwuchs mit Miesmuscheln zustande. Der

Miesmuschelteppich erstreckt sich von etwa 0 bis 4 m Tiefe. Darunter kommen nur vereinzelt Miesmuschelgruppen vor. Aus Abbildung 9 ist ersichtlich, dass die Schichtdicke der Miesmuscheln an den Jacketkonstruktionen in Frühjahr und Herbst insgesamt stärker zu sein scheint, als an den Tripoden.

Im Herbst ist die Schichtdicke in 1 m Wassertiefe geringer, in 5 m und an Anlage AV7 und AV12 auch bei 9 m sehr viel höher als im Frühjahr. An Anlage AV7 finden sich Miesmuscheln erst ab 3,5 m Tiefe, an Anlage AV12 findet sich ein dichter Miesmuschelteppich erst ab 10 m Wassertiefe.

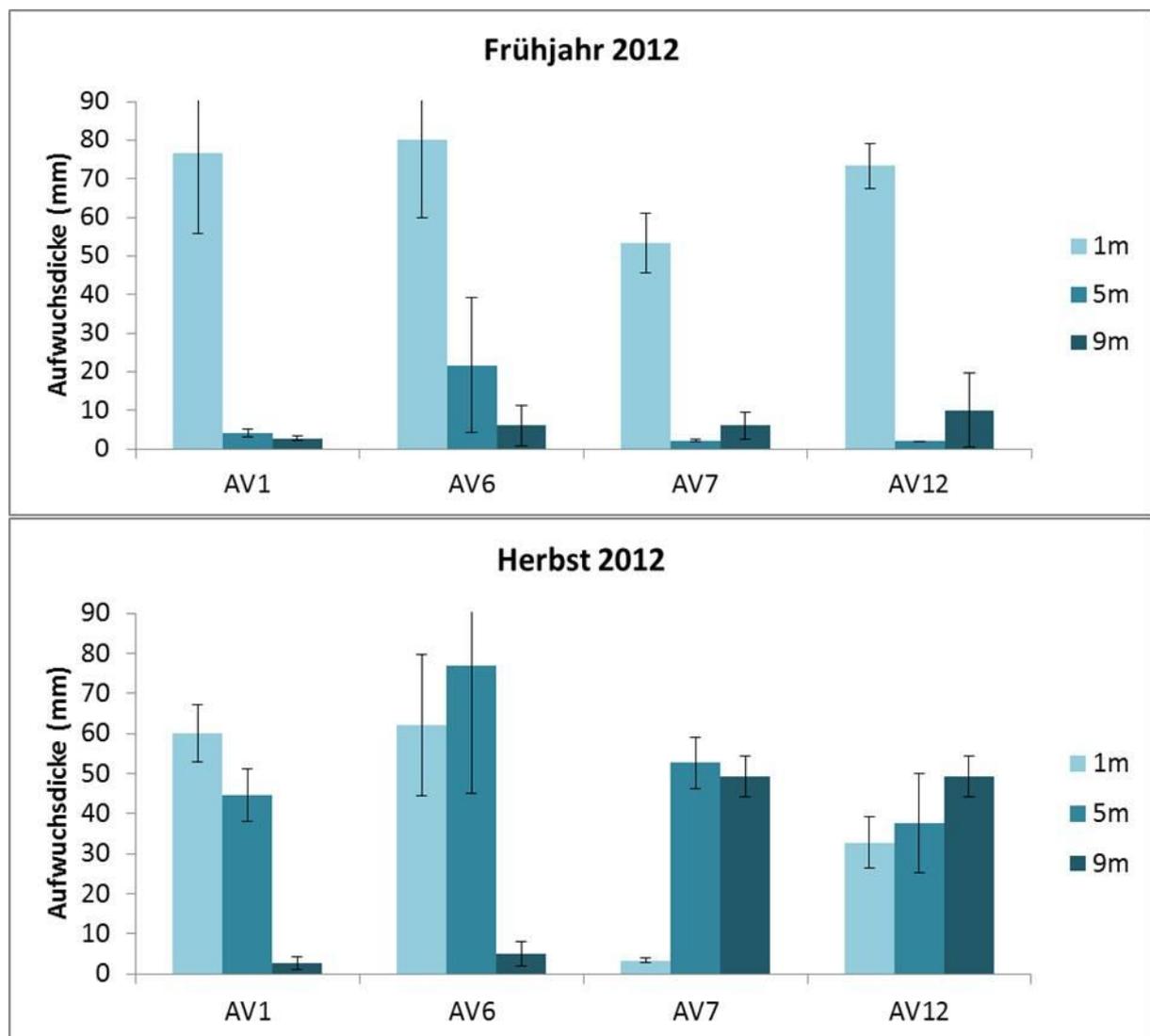


Abb. 10: Dicke der Schicht von sessilen/semisessilen Organismen auf den Gründungsstrukturen der Windkraftanlagen bei drei verschiedenen Wassertiefen (9 m, 5 m, 1 m) im Frühjahr und Herbst 2012. Bei AV1 und AV6 handelt es sich um Jacket-, bei AV7 und AV 12 um Tripod Konstruktionen. Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung.

Auch wenn das Bewuchsmuster dem entspricht, welches auch an der Forschungsplattform FINO in den letzten Jahren gefunden wurde (Krone 2012), mit höheren Bewuchsmassen im Frühjahr als im Herbst, lassen die hohen Varianzen in unseren Ergebnissen darauf schließen, dass dringend weitere Untersuchungen an den verschiedenen Anlagentypen zu verschiedenen Jahreszeiten durchgeführt werden müssen, um verlässliche Bewuchsdicken und damit Belastungswerte für die Anlagen berechnen zu können. Momentan wird die Mehrbelastung der Anlagen mit Werten berechnet, die

etwa unseren Daten für die Bewuchsdicke entsprechen, an FINO wurden jedoch mit bis zu 40 cm viel höhere Bewuchsdicken festgestellt.

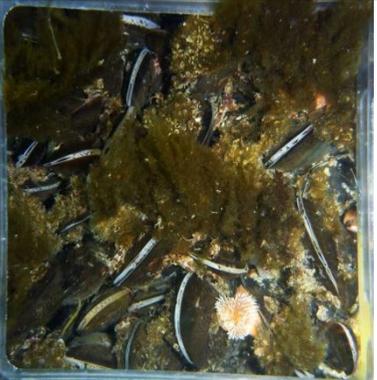
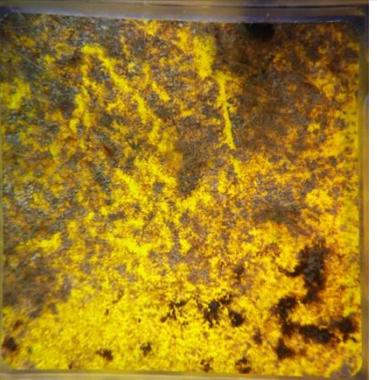
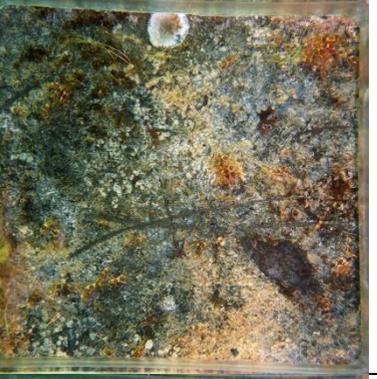
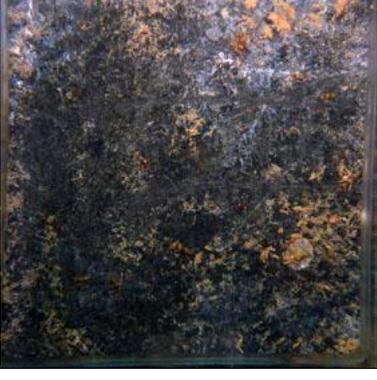
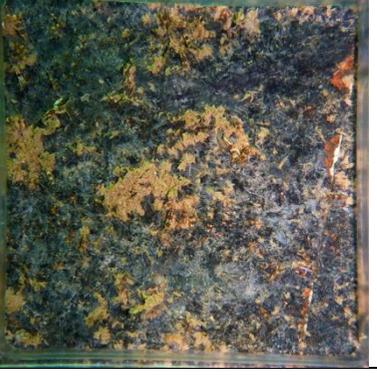
Zusammensetzung (Bildanalyse)

Wie die einzelnen Bilder in Abbildung 11 zeigen, ist die Art des Bewuchses auf den verschiedenen Tiefenstufen an allen Anlagen, unabhängig davon ob es sich um eine Jacket- oder Tripod Konstruktion handelt und ob diese im Frühjahr oder Herbst untersucht wurden, sehr ähnlich. Auf 1 m Tiefe dominiert, wie erwartet, die Miesmuschel (*Mytilus edulis*). Dieser Miesmuschelteppich ist an der Oberfläche stark mit Algen und vereinzelt mit Anthozoen (*Metridium senile*, AV1, 1 m) bewachsen, auch kommen vereinzelt Seesterne (*Asterias rubens*) vor (AV6, 1 m). In 5 m Wassertiefe sind als durchgehender Teppich die aus Detritus und Algenstückchen bestehenden Wohnröhren des Amphipoden *Jassa sp.* dominant. Des Weiteren tauchen hier vereinzelt Seeigel (*Psammechinus miliaris*, AV6, 5 m, rechte obere Ecke), Miesmuscheln sowie sessile Röhrenwürmer (*Tubularia sp.*, z.B.: AV1, 5 m) auf. Auf einer Tiefe von 9 m dominieren noch immer die Wohnröhren der Amphipoden, außerdem kommen hier sowohl vereinzelt Miesmuscheln als auch Hydrozoen, Anthozoen und Seesterne vor.

Korrosion (Bildanalyse)

Die Fotografien der Strukturen nach Entfernen des Aufwuchses zeigen, dass in 1 m Tiefe die Beschichtungsfarbe noch gut erhalten ist, jedoch zeigen sich auf den Bildern von AV6, AV7 und AV12 deutliche Spuren von Korrosion. Die Bilder aus 5 m Tiefe zeigen hauptsächlich das Rohmaterial der Strukturen, wobei das Bild AV12, 5 m offensichtlich zufällig eine Beschriftung auf der Struktur zeigt. Die Aufnahmen der Strukturen auf 9 m Wassertiefe zeigen eine deutliche dunkle Verfärbung des Materials, was ein Hinweis auf eine verstärkte anaerobe Korrosion ist. Auf den Aufnahmen der Tripod Konstruktionen ist erkennbar, wie stark das Material korrodiert ist. Abgefallene, korrodierte Stückchen der Strukturen waren in den entsprechenden Kratzproben zu finden. Diese Kratzproben wiesen außerdem einen starken Schwefelgeruch auf. Beides zeigt, dass in der Tiefe von 9 m verstärkt eine anaerobe Korrosion auftritt.

Bildauswertung

	AV1		AV6	
Tiefe	Ohne Bewuchs	Mit Bewuchs	Ohne Bewuchs	Mit Bewuchs
1m				
5m				
9m				

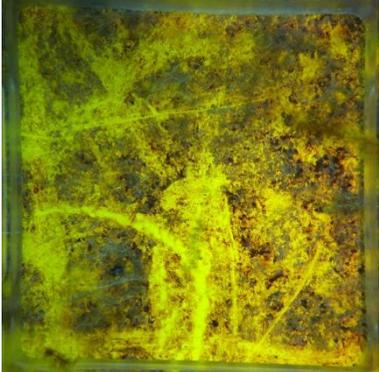
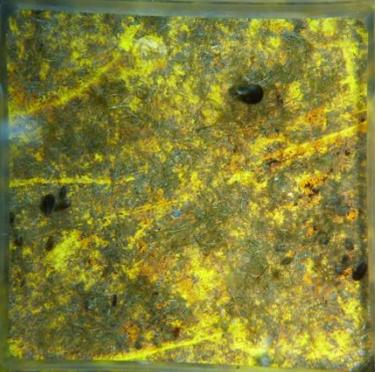
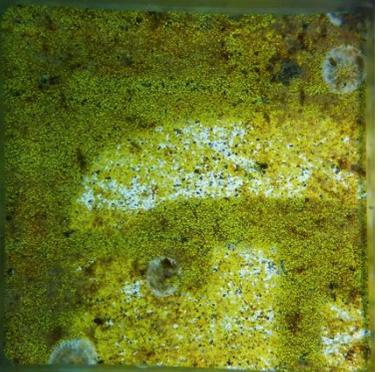
	AV7		AV12	
Tiefe	Ohne Bewuchs	Mit Bewuchs	Ohne Bewuchs	Mit Bewuchs
1m				
5m				
9m				

Abb. 11: Unterwasseraufnahmen der vier untersuchten Anlagen (AV1, AV6, AV7, AV12) in drei Wassertiefen (1 m, 3 m, 9 m) ohne Aufwuchs (gereinigt) und mit Aufwuchs

Fütterungsversuche

Wasserparameter

Gelöste Nährstoffverbindungen ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$, NO_2^- , NO_3^-)

Als Stoffwechselprodukt scheiden Fische giftiges Ammoniak aus, der im Wasser mit ungiftigem Ammonium in einem Gleichgewicht vorliegt. Die Ammoniak-Konzentration ist temperatur- und pH-abhängig. Als grober Richtwert lässt sich davon ausgehen, dass etwa 2 % des vorliegenden Gesamtammoniums als Ammoniak vorliegen. Durch den Nitrifikationsprozess im aeroben Biofilter entsteht aus dem Ammonium mit Hilfe der Bakterien zunächst Nitrit und anschließend Nitrat. Dieses wird anaerob und unter Zuführung einer Kohlenstoffquelle in der Denitrifikation aus dem System in Form von N_2 entfernt. Ammoniak und Nitrit sind bereits bei niedrigen Konzentrationen als gefährlich anzusehen, da im System lebende Organismen empfindlich auf diese Stoffe reagieren und Vergiftungserscheinungen auftreten. Nitrat wirkt allerdings erst in Konzentrationen $> 100 \text{ mg l}^{-1}$ negativ auf Verhalten und Wachstum der meisten Fische. Die Werte für Ammonium und Nitrit lagen in beiden Fütterungsversuchen an der unteren Grenze unserer Messgenauigkeit, waren also sehr niedrig. Auch die Nitratwerte blieben weit unterhalb der kritischen Grenze.

Abiotische Faktoren (T, S, O_2 , pH, Redox)

Die abiotischen Faktoren in der Kreislaufanlage sind im Allgemeinen recht stabil und können eingestellt werden. Mit Hilfe der Mess-, Steuer und Regeltechnik werden die abiotischen Parameter überwacht und protokolliert. Die Temperatur lag bei beiden Versuchen mit Steinbutt stabil zwischen 16,2 und 16,5 °C und bei der Seezunge zwischen 17,3 und 19,6° C. Die Salinität lag bei den Versuchen mit Steinbutt zwischen 30 und 32 PSU, bei der Seezunge zwischen 26 und 28 PSU. Die Sauerstoffversorgung lag zwischen 72 und 98 % beim Steinbutt und über 100 % beim Seezungenversuch und war damit zu jeder Zeit ausreichend. Der pH Wert variierte zwischen 7,49 und 7,90.

Ergebnisse - Steinbutt

In beiden Versuchen (A und B) war die Akzeptanz aller drei Futtermittel sehr gut. Wie die Ergebnisse des Fütterungsversuches A zeigen (Abbildung 12), ist das Wachstum der Fische, die Futter ohne Muschelmehl erhielten, am höchsten. Das Wachstum der Fische, die ein Futter erhielten, bei dem die Hälfte des Fischmehls durch Muschelmehl ersetzt wurde, liegt im mittleren Bereich. Eine hundertprozentige Substitution von Fischmehl durch Muschelmehl resultierte in der geringsten Längen- und Gewichtszunahme. Zu Versuchsbeginn lag die Biomasse pro Becken zwischen 1430 und 1500 g, wobei das mittlere Fischgewicht bei etwa 49 bis 50 g lag (siehe Tabelle 2). Das Gewichtswachstum der Fische ist in allen Futtergruppen signifikant. Das Startgewicht aller Gruppen liegt im Mittel bei 49,48 g, das mittlere Endgewicht bei 116,58 g.

Am zweiten Messtag, nach einem Versuchszeitraum von zwei Wochen, zeigte sich, dass die Fische, die Futter ohne Miesmuschelmehl (0%-Futter) erhielten, ein signifikant ($p < 0,0001$, $df = 2$, $F = 1,26$) höheres Gewicht aufwiesen ($63,89 \text{ g} \pm 1,69 \text{ SE}$) als die Fische, die Futter mit hohem Miesmuschelanteil (100%-Futter) erhielten ($59,22 \text{ g} \pm 1,65 \text{ SE}$). Das Gewicht der Fische die das 50%-Futter erhielten, lagen in einem mittleren Bereich ($61,44 \text{ g} \pm 2,65 \text{ SE}$), war jedoch von den beiden anderen Versuchsgruppen statistisch nicht signifikant verschieden ($p > 0,05$). Am dritten Messtag (nach vier Wochen) war das

Gewicht der Fische, die kein Miesmuschelmehl bekamen auch signifikant höher ($p < 0,0001$, $df = 2$, $F = 6,66$, $90,33 \text{ g} \pm 2,28 \text{ SE}$) als das der Fische, die mit dem 50%- ($81,11 \text{ g} \pm 2,19 \text{ SE}$) bzw. dem 100%-Futter ($75,33 \text{ g} \pm 2,03 \text{ SE}$) gefüttert wurden. Zwischen der 0%- und der 50%-Gruppe gab es am dritten Messtag jedoch keinen signifikanten Unterschied. Am vierten Messtag (nach 6 Wochen) lag das Gewicht der 0%-Gruppe und der 50%-Gruppe signifikant über dem der 100%-Gruppe, bei der das gesamte Fischmehl durch Muschelmehl substituiert wurde ($p < 0,0001$, $df = 2$, $F = 7,68$ 0 %: $105,31 \text{ g} \pm 2,97 \text{ SE}$; 50 %: $98,27 \text{ g} \pm 2,65 \text{ SE}$; 100 %: $85,06 \text{ g} \pm 2,15 \text{ SE}$). Am letzten Messtag, also nach einer Versuchszeit von 8 Wochen, unterschieden sich die Gewichte der Fische aller Futtergruppen signifikant ($p < 0,0001$, $df = 2$, $F = 10,178$), wobei die Fische mit dem 0%-Futter am schwersten waren ($130,74 \text{ g} \pm 3,43 \text{ SE}$), die 50%-Gruppe lag im Mittelfeld ($116,05 \text{ g} \pm 3,34 \text{ SE}$), und die Fische der 100%-Gruppe waren am leichtesten ($102,96 \text{ g} \pm 3,02 \text{ SE}$).

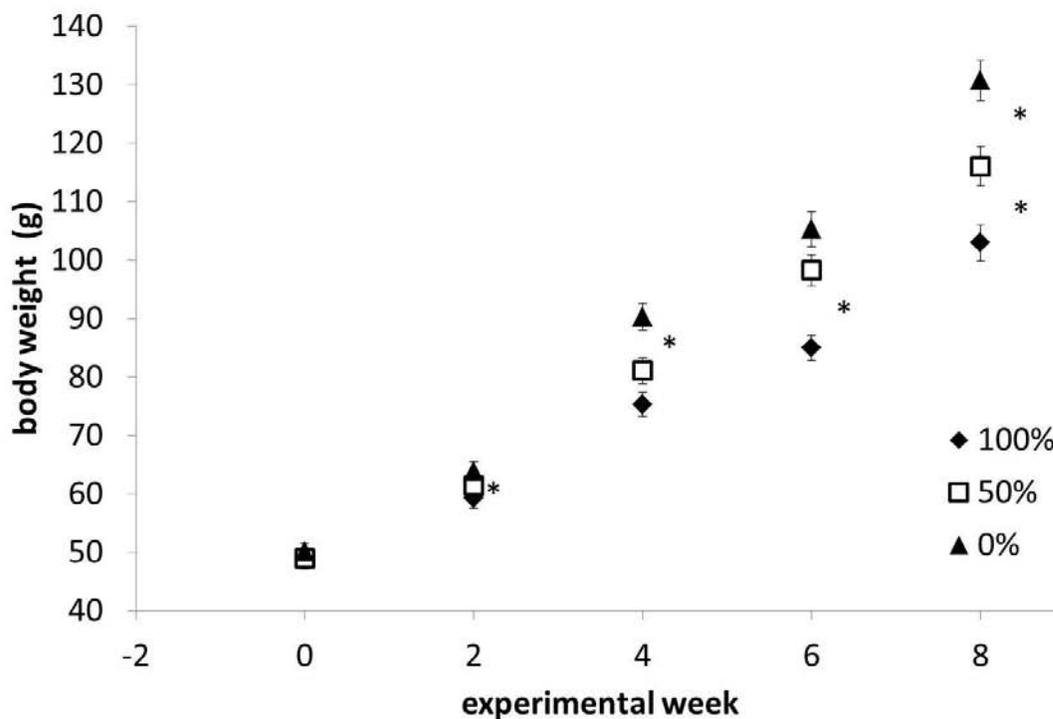


Abb. 12: *S. maximus*. Fütterungsversuch A. Veränderung des Fischgewichts (MW \pm SE) über den Versuchszeitraum von 8 Wochen. Die farbigen Symbole bezeichnen die unterschiedlichen Futtermittel, wobei 100 % - kein Fischmehl, 50 % - der Fischmehlanteil ist zu 50 % mit Miesmuschelmehl ersetzt, 0 % - das Futter enthält ausschließlich Fischmehl. * - signifikante Unterschiede.

Das ebenfalls 14-tägig gemessene Längenwachstum der Fische zeigt ein analoges Bild wie das Gewichtswachstum. Die mittleren Anfangslängen zu Versuchsbeginn waren fast gleich ($13,39$ bei der 0%-Gruppe und $13,32 \text{ cm}$ bei der 100%-Gruppe). Auch hier sind alle Fische gut gewachsen, die Fische, die mit Futter ernährt wurden, welches reines Fischmehl als Eiweißquelle enthielt, wuchsen jedoch signifikant schneller und erreichten nach acht Wochen eine Endlänge von $17,86 \text{ cm}$ ($SE = 0,15 \text{ cm}$), im Vergleich zu $16,67 \text{ cm}$ ($SE = 0,14$) bei der 100%-Versuchsgruppe, die Futter mit reinem Muschelmehl erhielt. Die Futterkonversionsrate der Fische aus Versuch A liegt mit $1,96$ bei der 100%-Fischmehlgruppe signifikant höher, d.h. schlechter als bei den Gruppen mit 50 % oder 0 % Muschelmehl als Proteinquelle

im Futter (Tab. 4). Der Konditionsfaktor (CF) der Fische ist bei der 100%-Muschelmehlgruppe signifikant niedriger. Die spezifische Wachstumsrate (SGR) unterscheidet sich bei allen drei Futtermitteln signifikant. SGR ist beim 100%-Muschelmehlfuttermittel 1,31 am niedrigsten und beim Futter mit reinem Fischmehl am höchsten (1,71). Der Hepatosomatische Index (HSI) lag im Mittel zwischen 1,41 und 1,45 unterschied sich jedoch nicht signifikant zwischen den Fütterungsgruppen ($p > 0,05$).

Die Ergebnisse von Fütterungsversuch B zeigen (Abb. 13), dass die hier eingesetzten Futtermittel (0 %: enthält ausschließlich Fischmehl, 10 %: 10 % des Fischmehlanteils wurden durch Muschelmehl ersetzt, 25 %: 25 % des Fischmehlanteils wurden durch Muschelmehl ersetzt) keine signifikanten Unterschiede im Wachstum der Fische hervorrufen. Die Gewichtszunahme war signifikant, die Futtermittel wurden gut angenommen. Während des 14 Wochen dauernden Versuches wurde die prozentual gefütterte Futtermenge von 3 % auf 1,5 % der Fischbiomasse reduziert, da beobachtet wurde, dass die Fische nicht die gesamte Futtermenge aufnahmen.

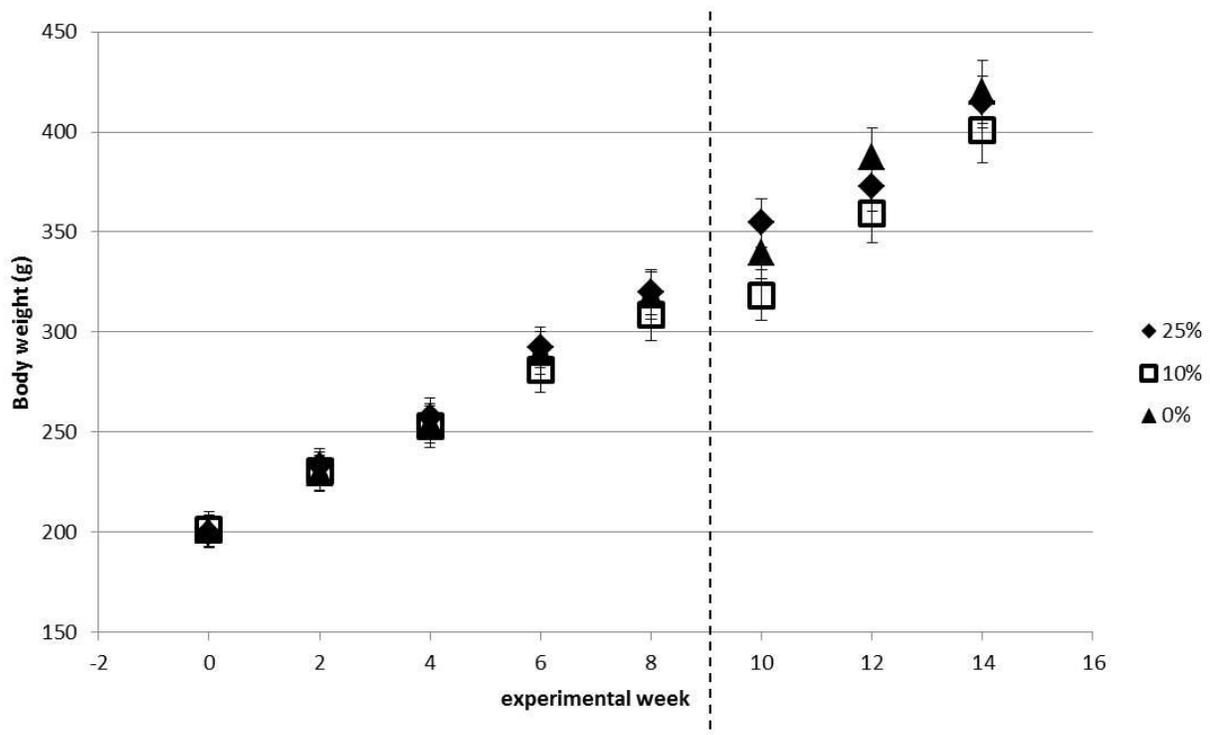


Abb. 13: *S. maximus*. Fütterungsversuch B. Veränderung des Fischgewichts (MW \pm SE) über den Versuchszeitraum von 14 Wochen. Die unterschiedlichen Symbole bezeichnen die unterschiedlichen Futtermittel, wobei 25 % bedeutet, dass der Fischmehlanteil zu 25% durch Miesmuschelmehl substituiert wurde, 10 % bedeutet 10% Substitution und das 0%-Futter enthält ausschließlich Fischmehl. Die Gestrichelte Linie gibt den geplanten Versuchszeitraum an. Nach diesem Zeitpunkt wurde statt des 25 % Futters ein kommerzielles Futter gefüttert.

Nach den geplanten acht Wochen Versuchsdauer, was der geplanten Versuchslänge entsprach, wurde der Versuch leicht verändert weitergeführt, um zum einen den Vergleich zu einem kommerziellen Futtermittel zu haben und zum anderen längerfristige Auswirkungen Muschelmehl enthaltenden Futters näher zu betrachten. Während des gesamten Versuches konnten keine signifikanten Unterschiede in der Gewichtszunahme der Fische zwischen den Futtermitteln festgestellt werden. Mit dem kommerziellen

Futter zeigten die Fische ein ähnliches Wachstum wie mit den für den Versuch hergestellten Futtermitteln.

Tab. 4: *S. maximus*, Fütterungsversuche A und B. FCR - Futterkonversionsrate, CF – Konditionsfaktor, SGR – Spezifische Wachstumsrate, HSI – Lebersomatischer Index der beprobten Tiere \pm SD. Für HSI n = 9. Fett gedruckte Zahlen weisen auf Signifikanzen hin. T1 – Berechnung und Probenahme nach acht Versuchswochen.

	Experiment A			Experiment B		
	100%	50%	0%	25% (T1)	10% (T1)	0% (T1)
FCR	1.96 ± 0.06	1.53 ± 0.09	1.44 ± 0.03	2.49 ± 0.05	2.74 ± 0.15	2.54 ± 0.09
CF	2.17 ± 0.17	2.19 ± 0.16	2.26 ± 0.18	2.13 ± 0.17	2.12 ± 0.21	2.10 ± 0.15
SGR	1.31 ± 0.04	1.54 ± 0.04	1.71 ± 0.07	0.84 ± 0.03	0.76 ± 0.04	0.82 ± 0.03
HSI	1.43 ± 0.14	1.41 ± 0.18	1.45 ± 0.20	1.49 ± 0.19	1.47 ± 0.17	1.40 ± 0.28

Ergebnisse – Seezunge

Der Fütterungsversuch mit der Seezunge ergab eine sehr gute Akzeptanz der drei Futtermittel, die sich in ihrem Anteil an Muschelmehl unterschieden (Abb. 14). Das Wachstum war bei den Fischen, die ohne Muschelmehl gefüttert wurden, war am höchsten. Die Fische, die 50 % Muschelmehl erhielten, lagen im Mittelfeld, und die Fische, die mit 100 % Miesmuschelmehl gefüttert wurden, zeigten die geringste Gewichtszunahme. Das Gewichtswachstum der Fische ist in allen Futtergruppen signifikant. Einen signifikanten Unterschied findet sich zwischen dem 0%- und dem 100%-Futter. Ein 50-prozentiger Ersatz des kommerziellen Larvenfutters Minipro 4 durch Muschelmehl hatte jedoch im Rahmen des Experiments keinen signifikanten Einfluss auf das Wachstum der Seezungen.

Die Biomasse pro Becken lag zu Versuchsbeginn zwischen 3,8 und 5,9 g, wobei das mittlere Fischgewicht bei etwa 0,164 bis 0,174 g lag. Das mittlere Startgewicht aller Gruppen betrug 0,172 g, das mittlere Endgewicht 0,639 g. Bereits am zweiten Messtag, d.h. nach zwei Wochen, hatten die Fische, die Futter ohne Miesmuschelmehl (0%-Futter) erhielten, ein signifikant höheres Gewicht (0,298 g $\pm 0,026$) (MW \pm SE) als die Fische, die mit 100 % Miesmuschelmehl gefüttert wurden (0,199 g $\pm 0,013$). Die Versuchsgruppe mit 50 % Miesmuschelmehl hatte nach zwei Wochen fast das gleiche Gewicht wie die Gruppe die reines Minipro 4 erhielt (0,258 g $\pm 0,022$). Am letzten Messtag des sechswöchigen Versuchszeitraums lagen die Gewichte der Fische, die 0 und 50 % Muschelmehl erhielten (0,653 g $\pm 0,034$ bzw. 0,501 g $\pm 0,026$), signifikant höher als die der Fische die ausschließlich mit Muschelmehl gefüttert wurden (0,384 g $\pm 0,039$). Der Unterschied zwischen der 0%-Gruppe (reines Minipro 4) und der 50%-Gruppe war nicht signifikant. Um die empfindlichen Seezungenlarven nicht zu verletzen, wurde mit den Längenmessungen erst nach vier Wochen begonnen und ab dann 14-tägig parallel zu den Wägungen durchgeführt. Auch hier sind alle Fische gewachsen, das Längenwachstum der Seezungen, die reines Minipro 4 erhielten (0%-Futter: Anfangslänge 3,6 cm $\pm 0,42$ (MW \pm SD), Endlänge: 4,2 cm $\pm 0,51$), war jedoch signifikant größer als das der Seezungen, die mit reinem Muschelmehl gefüttert wurden (100%-Futter: Anfangslänge 3,3 cm $\pm 0,66$, Endlänge: 3,5 cm $\pm 0,66$) Es gibt keine signifikanten Unterschiede

zwischen den Fischen, die kein Muschelmehl erhielten und denen, die mit 50 % Muschelmehl gefüttert wurden (50%-Futter: Anfangslänge 3,3 cm \pm 0,34, Endlänge: 3,7 \pm 0,39).

Die Seezungen, die mit 50 % Miesmuschelmehl gefüttert wurden, hatten im Experiment die höchsten Überlebensraten, statistisch gab es jedoch zwischen den Versuchsgruppen keine signifikanten Unterschiede.

Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass das Muschelmehl zwar das teure Larvenaufzuchtfutter nicht ersetzen kann, dass aber eine Beimengung von bis zu 50 % eine positive Auswirkung auf die Überlebensrate hat.

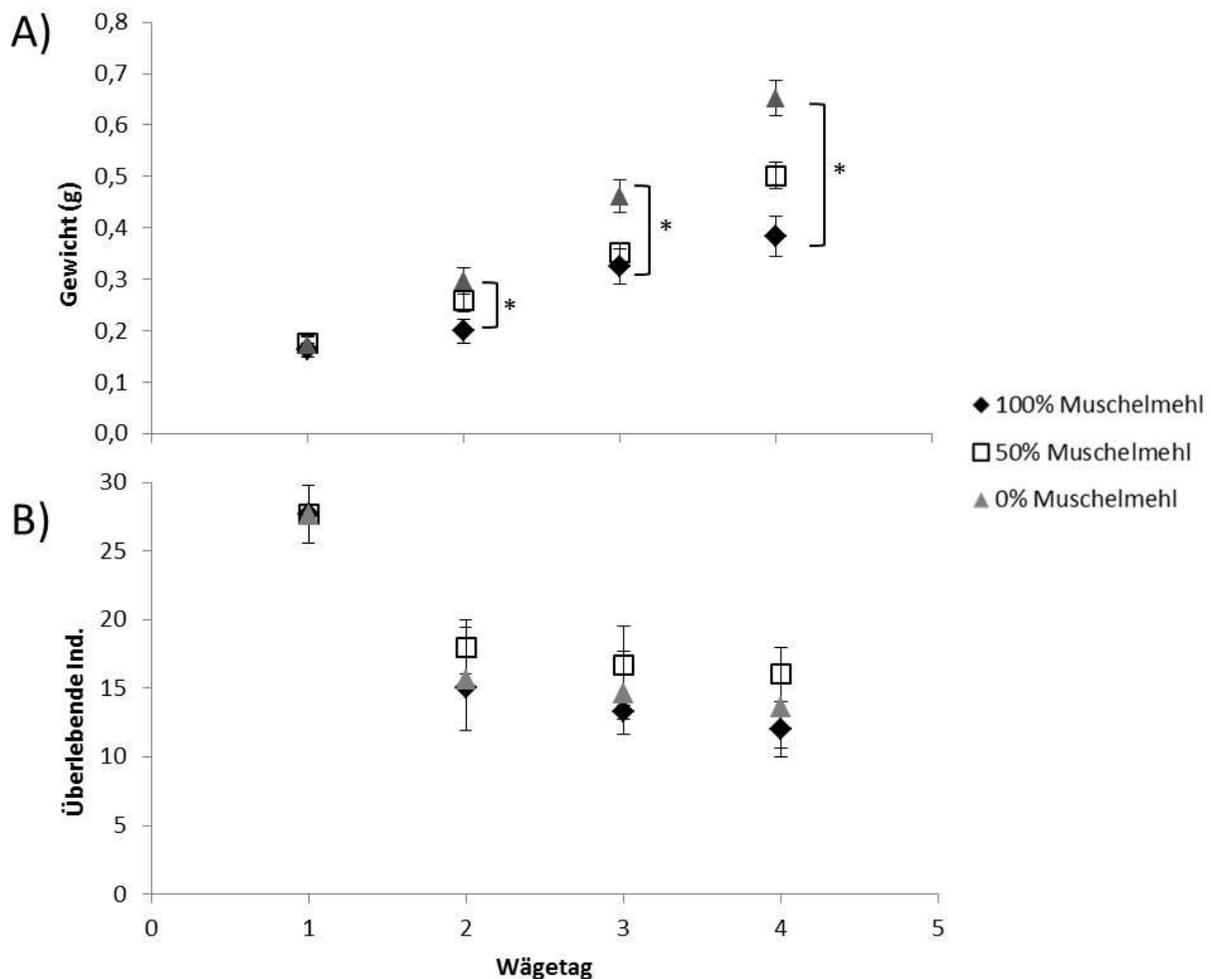


Abb. 14: *S. solea*. Ergebnisse des Fütterungsversuchs. A) Veränderung des Fischgewichts (MW \pm SE) über den Versuchszeitraum von sechs Wochen. B) Überlebende Individuen über den Versuchszeitraum. Die Symbole bezeichnen die unterschiedlichen Futtermittel. * - signifikante Unterschiede.

Diskussion Fütterungsversuche

Steinbutt

Insgesamt sind die Steinbuttversuche mit allen Futtermitteln erfolgreich verlaufen. Es sind keine Versuchstiere gestorben, die Fische aller Versuchsgruppen zeigten keinerlei Krankheitssymptome, Verfärbungen oder Verluste ihrer Agilität. Die äußeren und inneren Untersuchungen der Fische zeigten keine negativen Einflüsse eines der Futtermittel. Alle sechs Futtermittel wurden sehr gut von den Fischen angenommen. Die hohe Fütterungsrate von 3 % des Fischgewichts in Experiment A lässt auf eine gute Gesundheit und ein starkes Wachstum der Fische schließen.

Die Futterkonversionsrate (FCR) war insgesamt sehr hoch. In vergleichbaren Untersuchungen am Steinbutt in RAS (Nagel et al. 2012, van Bussel et al. 2012) lag die FCR zwischen 0,8 und 1,07. Diese hohen Werte sind auf die verwendete Futterart zurückzuführen. Auf Grund der komplizierten und zeitaufwändigen manuellen Herstellung des Muschelmehls konnten nur die für die Versuche benötigten Futtermengen hergestellt werden. Diese geringen Mengen können aber nicht in einem Extruder hergestellt, sondern lediglich in einem Pelletierer in Form gepresst werden. Es ist allgemein bekannt, dass durch den Extrusionsprozess die Verdaulichkeit des Futters verbessert wird. Vor allem lässt sich aber mit einer einfachen Pelletierung ohne Zuhilfenahme von Auftriebsmitteln kein Schwimmfutter, sondern nur Sinkfutter herstellen. Einmal auf den Boden gesunkene Futterpellets werden jedoch von den Steinbutten nur selten aufgenommen (Plattfische haben die Augen auf der Körperoberseite), können aber ohne Störung der Fische auch nicht wieder aus dem Becken entfernt und rückgewogen werden. Da nicht zwischen Futtermenge und konsumiertem Futter unterschieden werden kann, wird die FCR systematisch überschätzt.

Der Konditionsfaktor (CF) unterschied sich in Experiment A in allen drei Futtergruppen signifikant voneinander. In den Versuchsgruppen mit dem besten Wachstum hatten die Fische auch den höchsten CF. In Fütterungsversuch B traten dagegen keine signifikanten Unterschiede im CF auf und lag im Mittel zwischen 2,10 und 2,13. Allerdings war der CF im Vergleich zu Werten aus der Literatur, die für Steinbutt aus RAS bei etwa 1,8 (Nagel et al. 2012, van Bussel et al. 2012) liegen, sehr hoch, was darauf hinweist, dass die Tiere sehr robust und gut genährt waren.

Die spezifische Wachstumsrate (SGR) lag bei Versuch A im Bereich der Literaturwerte (1,6 – 2,0). In Abhängigkeit vom Futtermittel wurden signifikante Unterschiede gefunden. Die geringste SGR zeigten die Versuchsgruppen, in deren Futter der Fischmehlanteil zu 100 % durch Muschelmehl ersetzt wurde, und die höchste Wachstumsrate wurde ganz ohne Muschelmehl erreicht. In Versuch B waren die SGRs sehr viel geringer, was darauf zurückzuführen ist, dass das Startgewicht der Fische sehr viel höher lag und größere Fische ein geringeres prozentuales Wachstum aufweisen. Der Hepatosomatische Index (HSI) wies in beiden Experimenten keine Unterschiede zwischen den Fütterungsgruppen auf und lag im Bereich der Literaturwerte (1,4), was bedeutet, dass die Fische mit dem in den Experimenten verwendeten Futtermitteln ebenso gut genährt waren und eine ebenso gute Gesundheit hatten, wie Fische die mit kommerziellen Futtermitteln ernährt wurden.

Jedoch waren das Wachstum in Gewicht und Länge (Abbildung 4) sowie die Futterkonversionsrate bei dem Futter (Abbildung 5) mit hohem und mittlerem Miesmuschelanteil (100%-Futter, 50%-Futter) deutlich schlechter als bei dem Referenzfutter, welches kein Miesmuschelmehl enthält. Die kalorimetrische Analyse zeigte, dass alle drei Futtermittel nahezu isokalorisch sind, was darauf hinweist, dass der Steinbutt nicht in der Lage ist, die in der Miesmuschel enthaltenen Nährstoffe vollständig

aufzunehmen. Dies kann an fehlenden Amino- oder Fettsäuren in der Muschel liegen. Betreffend der Fettsäuren konnte diese Annahme durch die von der Hochschule Bremerhaven durchgeführten Analysen bestätigt werden (s. entsprechender Berichtsteil). Wie die Ergebnisse von Experiment B zeigen, konnten die nachteiligen Auswirkungen des Muschelmehls auf das Wachstum der Versuchsfische durch eine anteilige Reduzierung im Futter ausgeschlossen werden. Ein Anteil von mindestens 25 % Miesmuschelmehl im Futter führt zu keinerlei nachteiligen Auswirkungen auf Wachstum und Gesundheit der Fische und kann daher uneingeschränkt empfohlen werden.

Seezunge

Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass das Muschelmehl zwar das teure Larvenaufzuchtfutter nicht ersetzen kann, dass aber eine Beimengung von bis zu 50 % keine negativen Auswirkungen auf das Wachstum und die Überlebensrate hervorrufen.

3. Wirtschaftliches Ergebnis des Vorhabens

Wie unsere Studie zeigt, ist der Einsatz von Muschelmehl in Futtermitteln für karnivore Fische in Aquakulturen als partieller Ersatz für Fischmehlprodukte empfehlenswert. In Zukunft sollten entsprechende Futtermittel als extrudierte Pellets hergestellt werden, damit die Verdaulichkeit erhöht und – je nach Zielart und Salzgehalt – die spezifische Dichte des Futters eingestellt werden kann.

Details über die Wirtschaftlichkeit des Gesamtvorhabens siehe Teilvorhaben Greim Fish Consulting.

Ausblick für weitere Untersuchungen aus Sicht der Aquakultur

Der erfolgreiche Einsatz des Muschelmehls in Futter für Steinbutt und Seezunge ermutigt dazu, Fütterungsversuche an weiteren aquakulturrelevanten Kandidaten durchzuführen. Auch für die Herstellung von Larvenaufzuchtfutter für Shrimps und Fische, sowie für Zierfischfutter kommt der Einsatz des Miesmuschelmehls in Frage. Versuche an der GMA Büsum haben gezeigt, dass der Zusatz von Miesmuschelmehl auch der sensorischen Aufwertung von Futtermitteln die hohe Anteile an Pflanzenprotein enthalten dienen kann. Vielversprechend wäre auch eine Analyse der Einsatzmöglichkeiten des Miesmuschelmehls als hochpreisiges Nahrungsergänzungsmittel/ Futterergänzungsmittel (s. Grünlippmuschelmehl).

Literatur

- 1afisch - <https://www.1afisch.de/shop/Fangfrischer-Fisch/Edelfisch-Wildfaenge/Seezunge/seezungenfilet-ohne-haut.html> (13.02.2013)
- Brenner M, Ramdohr S, Effkemann S, Stede M (2009) Key parameters for the consumption suitability of offshore cultivated mussels (*Mytilus edulis*) in the German Bight. Eur Food Res Technol 230(2):255–267
- Corraze G (2001) Lipid nutrition. In: Guillaume J, Kaushik S, Bergot P, Metailler R (eds) Nutrition and feeding of fish and crustaceans. Praxis, Chichester (UK), pp 111–129
- Danancher D, Garcia-Vazquez E (2007) Turbot – *Scophthalmus maximus*. In: Svåsand T, Crosetti D, García-Vázquez E, Verspoor E (eds) Evaluation of genetic impact of aquaculture activities on native populations: a European network. GENIMPACT Final Report (EU contract n. RICA-CT-2005-022802). <http://genimpact.imr.no/>
- Fonds M (1976) The influence of temperature and salinity on growth of young sole *Solea solea* L. Universa Press (Belgium), Bredene (Belgium), Proceedings of the 10th European Symposium on Marine Biology Vol. 1: Mariculture., 17–125
- Fonds M, Saksena VP (1977) The daily food intake of young soles (*Solea solea* L.) in relation to their size and the water temperature. In: Renner JA(ed.) (ed) EM sur la Mariculture, Brest (France), 10-13 Mai 1977. Centre

- National pour l'Exploitation des Oceans. CNEXO, Brest, pp 51–58
- Frank S (1998) Meeresfische. Verlag Werner Dausien, Hanau
- Imsland AK, Foss A, Conceição LEC, Dinis MT, Delbare D, Schram E, Kamstra A, Rema P, White P (2003) A review of the culture potential of *Solea solea* and *S. senegalensis*. *Rev Fish Biol Fish* 13(4):379–408
- Lachskontor - <http://www.lachskontor.de/Seezunge+fangfrisch+kuechenfertig,i21.html> (13.02.2013)
- Keller M (2009) Übersicht über Höchstwerte, Richtwerte und Mindestleistungsgrenzen für unerwünschte Stoffe in Fischen, Krebs- und Weichtieren. Bundesverband der deutschen Fischindustrie und des Fischgroßhandels E.V., Hamburg, 19 pp
- Krone R (2012) Offshore Wind Power Reef Effects and Reef Fauna Roles. Doctoral thesis. University of Bremen, Bremen, 215 pp
- Nagel F, von Danwitz A, Tusche K, Kroeckel S, van Bussel CGJ, Schlachter M, Adem H, Tressel R-P, Schulz C (2012) Nutritional evaluation of rapeseed protein isolate as fish meal substitute for juvenile turbot (*Psetta maxima* L.) – Impact on growth performance, body composition, nutrient digestibility and blood physiology. *Aquaculture* 356-357:357–364
- Regost C, Arzel J, Kaushik SJ (1999) Partial or total replacement of fish meal by corn gluten meal in diet for turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture* 180(1-2):99–117
- Send-a-fish - <http://www.send-a-fish.de/seezungen-ohne-kopf-haut-445.html> (13.02.2013)
- Sokal RR, Rohlf FJ *Biometry – the principles and practice of statistics in biological research*. Freeman, San Francisco, CA, 859 pp

Teilvorhaben Hochschule

Arbeitsauftrag

Amino- und Fettsäureanalytik der hergestellten Mehle und Pasten, sowie der Proben der verschiedenen Offshore-Standorte.

1. Darstellung der Durchführung des Vorhabens

Entgegen der ursprünglichen Planung wurden an der HS-Bremerhaven die unter dem Punkt IMARE/Durchgeführte Arbeiten erwähnten geplanten Untersuchungen (Fettsäuregehalt und Aminosäuregehalt) verändert. Schon im Vorfeld wurde darauf hingewiesen, dass eine Aminosäureanalyse ggf. nicht möglich sein könnte. Ursache hierfür war, dass schon vor Projektbeginn die Möglichkeit der Aminosäureanalytik noch zu entwickeln war und zudem entsprechende Anschaffungen (z.B. ein Fluoreszenzdetektor) noch zu tätigen waren. Diese Arbeiten / Anschaffungen konnten aus dem Laboretat des Labors für marine Biotechnologie erst im Frühjahr 2013 getätigt werden, sodass es nicht mehr gelang im Rahmen des Projektes die Methodik zu validieren. Daher werden die durchgeführten Messungen im Rahmen dieses Berichtes keine weitere Verwendung finden und es werden nur die Ergebnisse des „Proof of Concept“ unkommentiert vorgestellt.

Als Folge erschien es frühzeitig sinnvoll, nach alternativen zusätzlichen Untersuchungen zu suchen und gemeinsam wurde dann entschieden, eine entsprechende Schwermetallanalytik an der Hochschule durchzuführen. Da die Aminosäureanalytik nicht mehr abgeschlossen werden konnte, wurde auch der Etat an der HS Bremerhaven nicht komplett ausgeschöpft und die entsprechenden verbliebenen Restmittel nicht abgerufen.

Statt der Aminosäureanalytik wurde in Absprache mit dem IMARE und den weiteren Projektpartnern eine Schwermetallanalytik hinsichtlich Kupfer, Blei, Cadmium und Zink durchgeführt.

Probenmaterial

Probenahme

Wie vom IMARE bereits beschrieben, wurden die Proben im Rahmen von Taucheinsätzen gewonnen und zwar im Alpha Ventus Windpark, am Leuchtturm Roter Sand und vor Helgoland. Insgesamt wurden 26 unterschiedliche Proben zur Verfügung gestellt. Einige der Proben mussten auf Grund der geringen Menge an Material gepoolt werden. D.h. bei Muschelproben vom gleichen Standort (A6-3 bis A6-5) wurden z.B. 3 Muscheln gepoolt und der Analytik unterzogen. Andernfalls wäre es nicht möglich gewesen den Ansprüchen an eine Analytik (Untersuchung von Triplikaten) zu genügen. Insgesamt wurden 4 Futtermittel, drei Muschelmehle, 4 Kratzproben von Gründungsstrukturen und zehn Muschelproben untersucht. Tabelle 1 fasst die Probendaten zusammen:

Tabelle 1: Auflistung der untersuchten Proben (grau/fett hinterlegte Proben wurden aus Materialmangel gepoolt)

Probe	Probenahme	Anmerkung
Futter 0% MM	12.01.2012	
Futter 10% MM I		
Futter 50% MM	12.01.2012	
Futter 100% MM	12.01.2012	
getr. MM	Okt 11	Helgol.
MM Mehl I	12.01.2012	
MM Mehl II	28.10.2011	
AV1 - 5m		Kratzprobe
AV12-5m	12.04.2012	Kratzprobe
AV1 - 5m	10.10.2012	Kratzprobe
AV7 - 1m	20.10.2012	Kratzprobe
SM-AV1-2		Herbst MM
SM-AV1-3		Herbst MM
SM-AV1-4		Herbst MM
SM AV1-5		
SM AV1-6		
SM AV6-1		gepoolt AV 6-2
SM AV 6-2		gepoolt AV 6-1
SM AV6-3		gepoolt AV 6-4 und 5
SM AV6-4		gepoolt AV 6-3 und 5
SM AV6-5		gepoolt AV 6-3 und 4
SM AV12-1		gepoolt mit AV 12-2
SM AV12-2		gepoolt mit AV 12-1
SM AV12-3		gepoolt mit AV 12-4
SM AV12-4		gepoolt mit AV 12-3
SM-AV12-5		

Probenvorbereitung

Insgesamt wurden somit 21 verschiedene Proben untersucht. Zur Vorbereitung der Messungen wurden die bei den Taucheinsätzen genommenen Proben zunächst wie in Kapitel 1 (imare) beschrieben lyophilisiert. Nachfolgend wurde die Probe mit einer Retsch Mörsermühle (RM 100; Endfeinheit 10µm; Retsch, Haan, Germany) zerkleinert und homogenisiert.



Abbildung 1: Verwendete Retschmühle RM 100

Bis zur weiteren Verwendung wurden die Proben anschließend bei -32°C gelagert. Sämtliche weiteren Messungen wurden als Triplikate durchgeführt, wobei in der Regel auch eine Dreifachbestimmung je Triplikat (d.h. insg. 9 Messungen pro Probe je Fragestellung) erfolgte.

Fettsäureanalytik

Die Messungen zur Fettsäureanalytik wurden im Labor für Marine Biotechnologie der HS Bremerhaven durchgeführt. Die Messungen erfolgten nach Verseifung der Proben mit dem GC (Carlo Erba 5300 MegaSeries Gaschromatograf). Als Säule wurde eine Chrompack Plot Fused Silica (25m x 0,53mm i.d.) verwendet. Als Standardmix zur Identifikation der Fettsäuren wurde ein FAME-Mix (Supelco37, Sigma Aldrich, Germany) verwendet.

Die Probenpräparation und die nachfolgenden Messungen erfolgten gemäß Standardprotokoll des Labors für Marine Biotechnologie.

Schwermetallanalytik

Die Messungen zur Schwermetallanalytik wurden im Labor für Ver- und Entsorgungstechnik der Hochschule Bremerhaven durchgeführt. Zur Verfügung stand ein Thermo Fisher GF-AAS welches sowohl die Möglichkeit bietet mit der Flammentechnologie (Zink => F-AAS) als auch der Graphitrohrentechnologie (Blei, Cadmium, Kupfer => GF-AAS, bessere Nachweisgrenze) zu arbeiten.

Die Proben wurden mit einem oxidativem Mikrowellenaufschluss (MWS Star; MWS Mikrowellensysteme, Leutkich, Germany; Tefloneinsatzgefäße; PFA-C-35) mit Hilfe von 3 mL Salpetersäure (Rotipuran Super 69%; Supra Qualität, Roth, Karlsruhe, Germany) und 1 mL H₂O₂ (30% zur Analyse, Applichem, Darmstadt, Germany) aufgeschlossen und auf ein definiertes Endvolumen (25 mL) eingestellt. Als zertifizierte Referenzsubstanzen wurden zwei verschiedene Standards verwendet. Einerseits der IAES-Referenzstandard 413 (Algae) und der NCS ZC 80002b (Weizenmehl). Die Probenpräparation und die Messung erfolgten gemäß Standardprotokoll des Labors für Marine Biotechnologie.

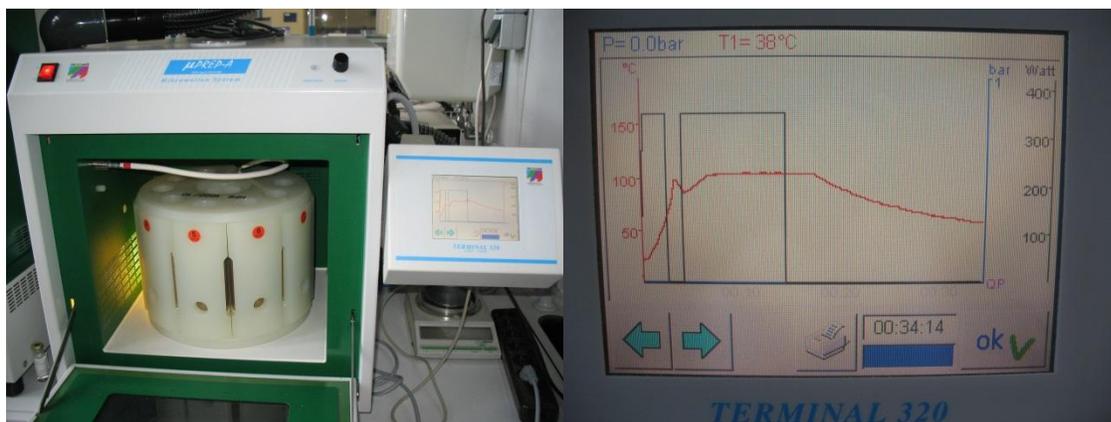


Abbildung 2: Verwendetes Mikrowellenaufschlusssystem (links) und standardisiertes Programm zum Probenaufschluss (rechts)

2. Zusammenfassung der Ergebnisse

Fettsäurezusammensetzung

Tabelle 2 zeigt die zur Fettsäureanalytik verwendeten Proben inklusive der Informationen zur Einwaage der Triplikate und deren Totallipidgehalt in Prozent.

Tabelle 2: Einwaagen und Totallipidgehalte für die zur Fettsäureanalytik eingesetzten Proben aus Tabelle 1

Nr.	Probengewicht (g)	Lipid (g)	Gesamtlipid [%]	Nr.	Probengewicht (g)	Lipid (g)	Gesamtlipid [%]
#1 MM Mehl I 12.01.2012				#11 AV7 - 1 m 20.10.2012			
1	0,3008	0,0216	7,2	1	0,3007	0,0169	5,6
2	0,3000	0,0229	7,6	2	0,3005	0,0123	4,1
3	0,3006	0,0230	7,7	3	0,3009	0,0080	2,7
				4	0,3002	0,0116	3,9
#2 Futter 0% MM (gemörsert) 12.01.2012				#12 SM-AV1-2 Herbst MM			
1	0,3003	0,0467	15,6	1	0,1005	0,0059	5,9
2	0,3006	0,0489	16,3	2	0,1005	0,0063	6,3
3	0,3009	0,0509	16,9	3	0,1009	0,0096	9,5
#3 Futter 50% MM 12.01.2012				#13 SM-AV1-3 Herbst MM			
1	0,3000	0,0418	13,9	1	0,3008	0,0382	12,7
2	0,3002	0,0522	17,4	2	0,3004	0,0535	17,8
3	0,3001	0,0503	16,8	3	0,3007	0,0414	13,8
4	0,3001	0,0490	16,3				
#4 Futter 100% MM 12.01.2012				#14 SM-AV1 -4 Herbst MM			
1	0,3002	0,0507	16,9	1	0,1004	0,0099	9,9
2	0,3004	0,0404	13,4	2	0,1002	0,0116	11,6
3	0,3004	0,0542	18,0	3	0,1004	0,0071	7,1
#5 Getr. MM Okt 11 Helgol.				#15 SM AV1 -5			
1	0,3006	0,0226	7,5	1	0,3005	0,0232	7,7
2	0,3003	0,0334	11,1	2	0,3006	0,0231	7,7
3	0,3004	0,0273	9,1	3	0,3005	0,0209	7,0
4	0,3005	0,0282	9,4				
#6 AV1 - 5 m Gemeinschaft Kratzprobe				#16 SM AV1 -6			
1	0,3003	0,0078	2,6	1	0,3002	0,0420	14,0
2	0,3001	0,0095	3,2	2	0,3005	0,0609	20,3
3	0,3004	0,0114	3,8	3	0,3004	0,0570	19,0
#7 AV12 - 5m Rest 12.4.12 Mole				#17 gepoolt AV6- 1 + AV6-2			
1	0,3005	0,0065	2,2	1	0,1003	0,0126	12,6
2	0,3005	0,0126	4,2	2	0,1003	0,0132	13,2
3	0,3005	0,0179	6,0	3	0,1002	0,0149	14,9
4	0,3006	0,0112	3,7				
#8 MM Mehl II 28.10.2011				#18 SM AV6-3, SM AV6-4, SM AV6-5			
1	0,3008	0,0336	11,2	1	0,3001	0,0397	13,2
2	0,3006	0,0378	12,6	2	0,3003	0,0358	11,9
3	0,3004	0,0400	13,3	3	0,3002	0,0441	14,7
#9 Futter 10% MM I				#19 SM AV12-1, SM AV12-2, gepoolt			
1	0,3003	0,0393	13,1	1	0,3003	0,0271	9,0
2	0,3003	0,0405	13,5	2	0,3002	0,0379	12,6
3	0,3003	0,0398	13,3	3	0,3004	0,0258	8,6
#10 AV1 - 5m 10.10.2012				#20 SM AV12-3, SM AV12-4, gepoolt			
1	0,3008	0,0126	4,2	1	0,1005	0,0104	10,3
2	0,3008	0,0126	4,2	2	0,1006	0,0108	10,7
3	0,3010	0,0111	3,7	3	0,1002	0,0119	11,9
				#21 SM-AV12-5			
				1	0,1005	0,0084	8,4
				2	0,1004	0,0102	10,2
				3	0,1001	0,0095	9,5

Insgesamt zeigt sich eine große Bandbreite der Lipidgehalte. Die Totalgehalte liegen zwischen 2 und 18%. Hierfür können sowohl unterschiedlichen Probenahmezeiträume, als aber auch die unterschiedliche Organismenzusammensetzung der Kratzproben (teilweise nur Miesmuscheln, Teilweise Gemeinschaften wie in imare Part beschrieben) für diese Unterschiede verantwortlich sind, konnte nicht überprüft werden. Dieses ist allerdings möglich, wie Prof. Bela Buck vom AWI Bremerhaven in einer persönl. Mitteilung betonte.

Zudem fällt auf, dass bei den Kratzproben die Fettsäuregehalte im Gegensatz zu den weiteren Proben z.T. nicht sehr konstant sind (a1-5m, A7-1m, A12-5m). Dieses dürfte auf Unterschiede in der Probenmatrix und dadurch bedingte Inhomogenitäten in der Probe zurück zu führen sein. Ein eindeutiger Hinweis in diese Richtung sind die bei dem Mikrowellenaufschluss (s. im Teil Schwermetallanalytik) verbliebene unlösliche Bestandteile, die auf Sandanteile im beprobten Bewuchs zurück zu führen sind (vgl. Tabelle 4).

Nachfolgend wurden die in Tabelle 2 genannten Proben verestert (Bildung von Fettsäuremethylestern = FAME) und vermessen. Abbildung 3 zeigt das Chromatogramm eines FAME-Standardmixes sowie die Zuordnung der entsprechenden im FAME-Mix enthaltenen Fettsäuremethylester zu den korrespondierenden Fettsäuren.

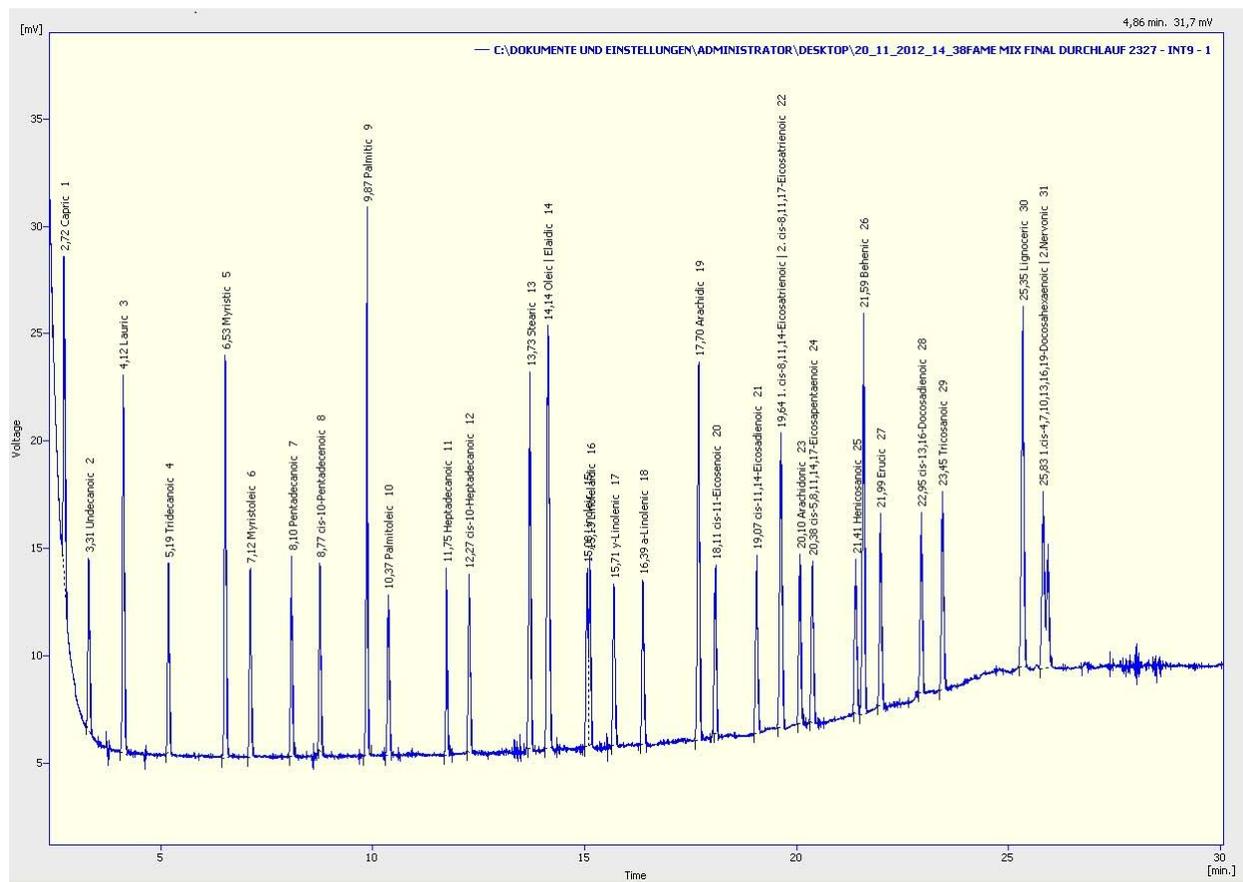


Abbildung 3: Chromatogramm FAME-Mix und Zuordnung der Fettsäuren

Exemplarisch sollen nachfolgend einige Chromatogramme (Abbildung 4 – 6) von vermessenen Proben gezeigt werden. Auf die Darstellung sämtlicher Messungen konnte verzichtet werden, weil insbesondere bei den Miesmuschelproben keine signifikanten Unterschiede festzustellen waren

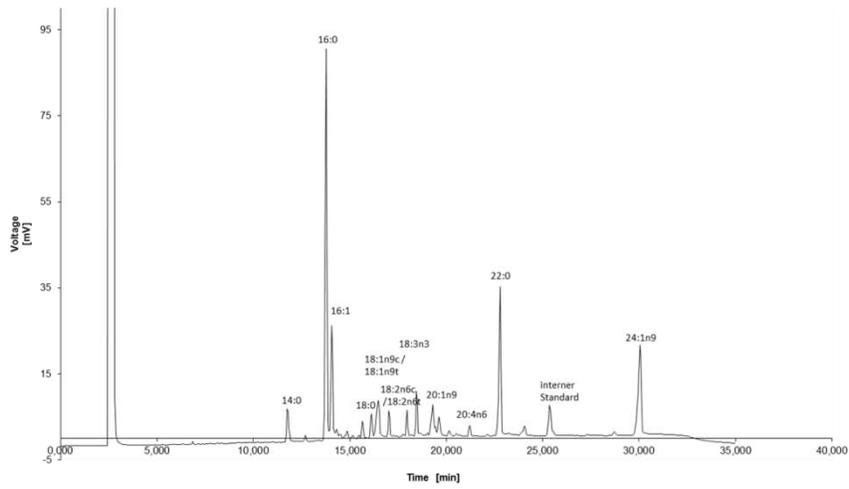


Abbildung 4: Chromatogramm der Fettsäurezusammensetzung des Muschelmehls MMI

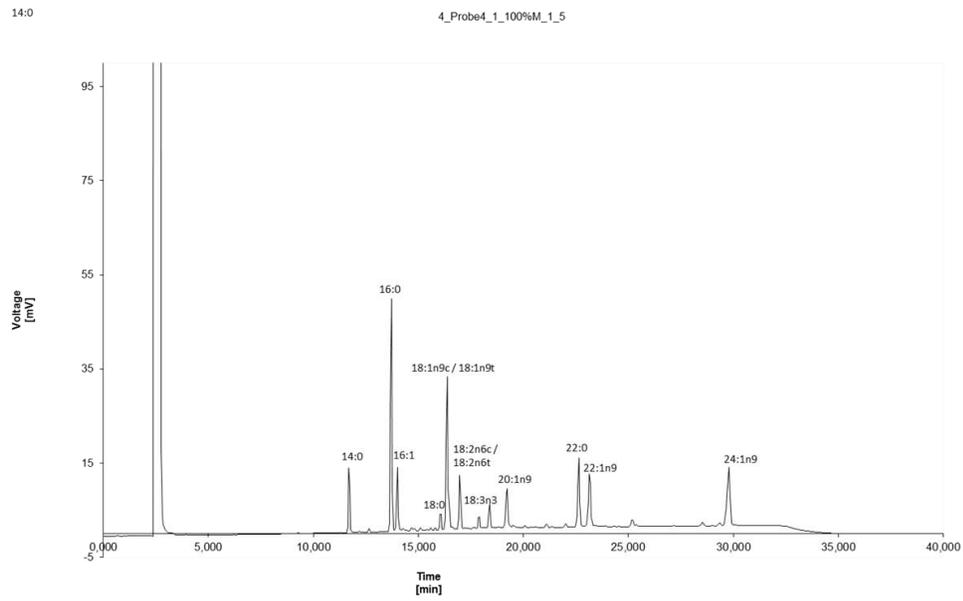


Abbildung 5: Chromatogramm der Fettsäurezusammensetzung des Fischfutters 100%MM

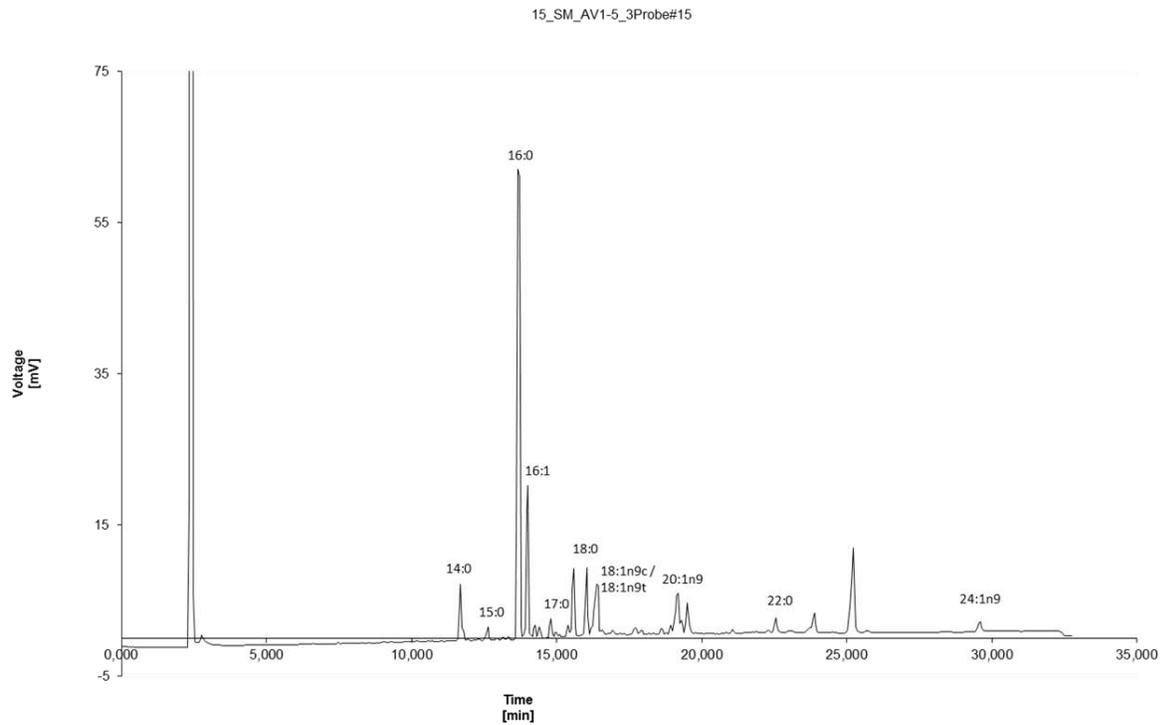


Abbildung 6: Chromatogramm der Fettsäurezusammensetzung der Kratzprobe AV1-5

Es wird deutlich, dass zwar einige Fettsäuren in sämtlichen Proben zu finden sind, aber die prozentualen Anteile z.T. stark variieren. Diese prozentualen Verhältnisse bei der Fettsäureanalytik werden in Tabelle 3 zusammengefasst:

Tabelle 3: Zusammenfassung der Ergebnisse der Fettsäureanalytik (die Probe SM AV 1-5 steht exemplarisch für sämtliche Muschelproben, da sich die Ergebnisse nicht wesentlich unterschieden). Sämtliche Ergebnisse sind in Prozent angegeben und beziehen sich auf den jeweiligen Anteil am Gesamtlipidgehalt gemäß Tabelle 2

Compound Name	Fettsäure	Gehalt FS in MMI [%]	Futter 100% Muschelmehl	Futter 50% Muschelmehl	Futter 0% Muschelmehl	Futter 10% Muschelmehl I	Getr. MM Helgoland	Muschel-mehl II	AV 1-5 Kratzprobe	SM AV1-5	AV 12-5 Rest
6:0	Capronsäure										
8:0	Caprylsäure										
10:0	Caprinsäure										
11:0	Undecansäure										
12:0	Laurinsäure										
13:0	Tridecansäure										
14:0	Myristinsäure	3,6	5,9	6,3	7,5	4,5	2,8	2,8	2,6	3,5	2,6
14:1	Myristoleinsäure										
15:0	Pentadecansäure									0,7	
15:1	cis-10 Pentadecensäure										
16:0	Palmitinsäure	33,3	25,9	24,8	25,9	20,9	35,9	37,8	40,9	45,3	41,4
16:1	Palmitoleinsäure	9,0	5,1	5,4	6,1	6,4	7,1	6,6	9,2	10,4	10,5
17:0	Margarinsäure						0,9			1,3	
17:1	cis-10 Heptadecensäure						3,4				
18:0	Stearinsäure	2,4	2,1	2,5	2,8	3,0	3,2	3,1	2,6	4,3	2,1
18:1n9c / 18:1n9t	Ölsäure	1,9	16,8	16,7	16,8	19,9	2,4	2,7	14,0	2,1	14,6
18:2n6c / 18:2n6t	Linolensäure	2,1	4,8	4,4	4,5	9,9	2,1	2,4			
18:3n6	alpha Linolensäure										
18:3n3	gamma-Linolensäure	1,8	1,4	1,2	1,1	1,3	1,7	2,1	0,0		
20:0	Arachinsäure									0,6	
20:1n9	cis-11 Eicosensäure	3,4	5,2	4,9	3,8	5,8	2,2	0,0	1,5	4,6	
20:2	cis 11, 14 Eicosadiensäure										
20:3n6 / 21:0	cis 8, 11, 14 Eicosatriensäure										
20:3n3	cis-11, 14, 17 Eicosatriensäure										
20:4n6	Arachidonsäure	0,9									
20:5n3	Timnodonsäure										
22:0	Behensäure	13,4	8,1	9,1	9,4	7,3	12,8	13,8	8,0	1,1	7,8
22:1n9	Erucasäure	0,0	7,3	7,0	5,8	4,9	0,0	0,0	0,0		0,0
22:2	cis-13, 16 Docosadiensäure										
23:0	Tricosansäure										
24:0	Lignocerinsäure										
22:6n3	Cervonsäure										
24:1n9	Nervonsäure	14,1	11,2	11,5	10,4	9,0	14,3	15,8	3,4	1,0	3,0
		10,8	5,2	5,0	5,2	5,4	7,2	8,6	5,4	16,3	

Insgesamt ist auffällig, dass in nahezu allen Proben ein sehr hoher Anteil an Palmitinsäure (orange hervorgehoben) beobachtet werden kann. Erhöhte Anteile wurden zudem für Behensäure und Nervonsäure festgestellt (grün hervorgehoben).

Interessanter ist der Anteil an Palmitoleinsäure, Ölsäure, Linolensäure und Erucasäure, weil es sich hierbei um ungesättigte Fettsäuren handelt. Auffällig ist dabei, dass der Gehalt an Ölsäure, Linolensäure und Erucasäure in den hergestellten Muschelmehlen stark reduziert ist (rot hervorgehoben). Inwieweit diese Beobachtung auf jahreszeitliche Schwankungen oder auf herstellungsbedingte Verluste zurückzuführen ist, ist nicht beurteilbar und bedarf weiterer Untersuchungen.

Allerdings ergibt sich daraus, dass der Anteil dieser ungesättigten Fettsäuren in einem Fischfutter ggf. reduziert würde und ggf. ein Mangel bei der Fütterung auftritt. Im Vergleich zu typischen Fischmehlen (Futter 0% Muschelmehl) ergibt sich für diese ungesättigten Fettsäuren ein verringerter Gehalt um den Faktor 2 bis 6. D.h. auf Grund dieser Beobachtung sollte der durch Muschelmehl zu ersetzende Anteil im Futter maximal 20 bis 50% des Maximums betragen. Andernfalls ist für die besagten Fettsäuren ein Mangel zu befürchten.

Schwermetallanalytik

Die Aufschlüsse von allen Proben konnten mit der Mikrowelle durchgeführt werden und Zn, Cd, Pb wurden erfolgreich gemessen. Bei den Kratzproben verblieb ein, mit einem oxidativen Aufschluss nicht

auflösbarer, Rest. Hierbei dürfte es sich um einen nur durch einen Flusssäureaufschluss zugängigen Sandanteil handeln. D.h. nur die organische Matrix wurde komplett aufgeschlossen.

Der Sandanteil in den Kratzproben lag zwischen 7 und 23% wie Tabelle 4 verdeutlicht. Abbildung 7 zeigt zudem beispielhaft die Sedimentbildung nach Aufschluss einer Kratzprobe.

Tabelle 4: unlösliche Reste beim Aufschluss der Kratzproben

Probe	Probeneinwaage [g]	unlös. Anteil [g]	unlös. Anteil [%]
AV1 - 5m	0,2072	0,0274	13,2
	0,2019	0,0273	13,5
	0,2018	0,0233	11,5
AV 12 - 5m	0,2044	0,0332	16,2
	0,2004	0,0296	14,8
	0,2061	0,0326	15,8
AV1 - 5m	0,2100	0,0161	7,7
	0,2040	0,0158	7,7
	0,1993	0,015	7,5
AV7 - 1m	0,2029	0,0381	18,8
	0,2048	0,0466	22,8
	0,2020	0,0392	19,4



Abbildung 7: Verbleibendes säureunlösliches Sediment nach oxidativem Mikrowellenaufschluss

Zudem war Kupfer unter den gegebenen Umständen nicht sinnvoll messbar. Hierbei handelt es sich um ein typisches Problem beim Messen von Kupfer, weil durch die Verwendung von Kupferrohren als Wasserleitung eine Kontamination der verwendeten Chemikalien (speziell Wasser), der Gefäße etc. ausgelöst wird. Dieses ist nur mit unverhältnismäßig großem operativen Aufwand (Spezialchemikalien, Spezialgefäße, Spezialwasser etc.) zu lösen. Daher wurden die Messungen zum Kupfer nicht abgeschlossen, da sich kaum Unterschiede zwischen den untersuchten Proben ergaben und eine sinnvolle Auswertung nicht möglich erschien.

Die wichtigsten Probandaten sind in Tabelle 1 und Tabelle 5 zusammengefasst. Tabelle 5 zeigt die zur Schwermetalluntersuchung verwendeten Proben sowie die Einwaagen (zu der Farbkodierung bitte Tabelle 1 vergleichen).

Tabelle 5: Einwaage für die Proben der Schwermetallanalytik. Nach dem Aufschluss lag das Aufschlussvolumen bei 25 mL (auch in diesem Fall ist gemäß Tabelle 1 die Kodierung hinsichtlich gepoolter Proben zu beachten).

Probe	Einwaage 1 [g]	Einwaage 2 [g]	Einwaage 3 [g]
Futter 0% MM	0,2131	0,2015	0,2008
Futter 10% MM I	0,2060	0,2076	0,2049
Futter 50% MM	0,2001	0,2060	0,2003
Futter 100% MM	0,2031	0,2083	0,1998
getr. MM	0,2042	0,2040	0,2012
MM Mehl I	0,2013	0,2159	0,2047
MM Mehl II	0,2011	0,2013	0,2022
AV1 - 5m	0,2072	0,2019	0,2018
AV12-5m	0,2044	0,2004	0,2061
AV1 - 5m	0,2100	0,2040	0,1993
AV7 - 1m	0,2029	0,2048	0,2020
SM-AV1-2	0,2074	0,2009	0,1993
SM-AV1-3	0,2074	0,1997	0,2035
SM-AV1-4	0,2002	0,2066	0,209
SM AV1-5	0,2045	0,2007	0,2025
SM AV1-6	0,1999	0,2041	0,2030
SM AV6-1	0,2008	0,2029	0,2009
SM AV 6-2			
SM AV6-3	0,2034	0,2004	0,2016
SM AV6-4			
SM AV6-5			
SM AV12-1	0,2015	0,2020	0,2006
SM AV12-2			
SM AV12-3	0,2004	0,2040	0,2047
SM AV12-4			
SM-AV12-5	0,1810	0,1807	0,1820

Untersucht wurden somit die Gehalte an Zink (Zn; F-AAS), Blei (Pb, GF-AAS) und Cadmium (Cd, GF-AAS). Allgemein ist festzuhalten, dass die verwendeten Referenzstandards im Bereich der Erwartungswerte lagen, d.h. die Analytik als vertrauenswürdig anzusehen ist (vgl. auch Abbildung 8-10).

Untersuchungen zum Zink-Gehalt

Abbildung 8 zeigt die Ergebnisse der Zinkanalytik in den Proben gemäß Tabelle 5. Auffällig ist, dass der Zn-Gehalt in den untersuchten Futtermitteln sehr hoch ist, während in den Muschelproben, den Kratzproben als auch den hergestellten Muschelmehlen der Zinkgehalt verhältnismäßig gering ist. Daher wäre bei Verwendung von Muschelmehl als Futteradditiv ein Zinkdefizit möglich, falls nicht auf anderem Wege dieser „Mangel“ ausgeglichen wird. Dieser Ausgleich scheint allerdings zu erfolgen, weil selbst bei 100% Muschelmehl als Additiv (z.B. Futter 100% MM) die Zinkgehalte im Futter nicht signifikant sinken (Abbildung 8).

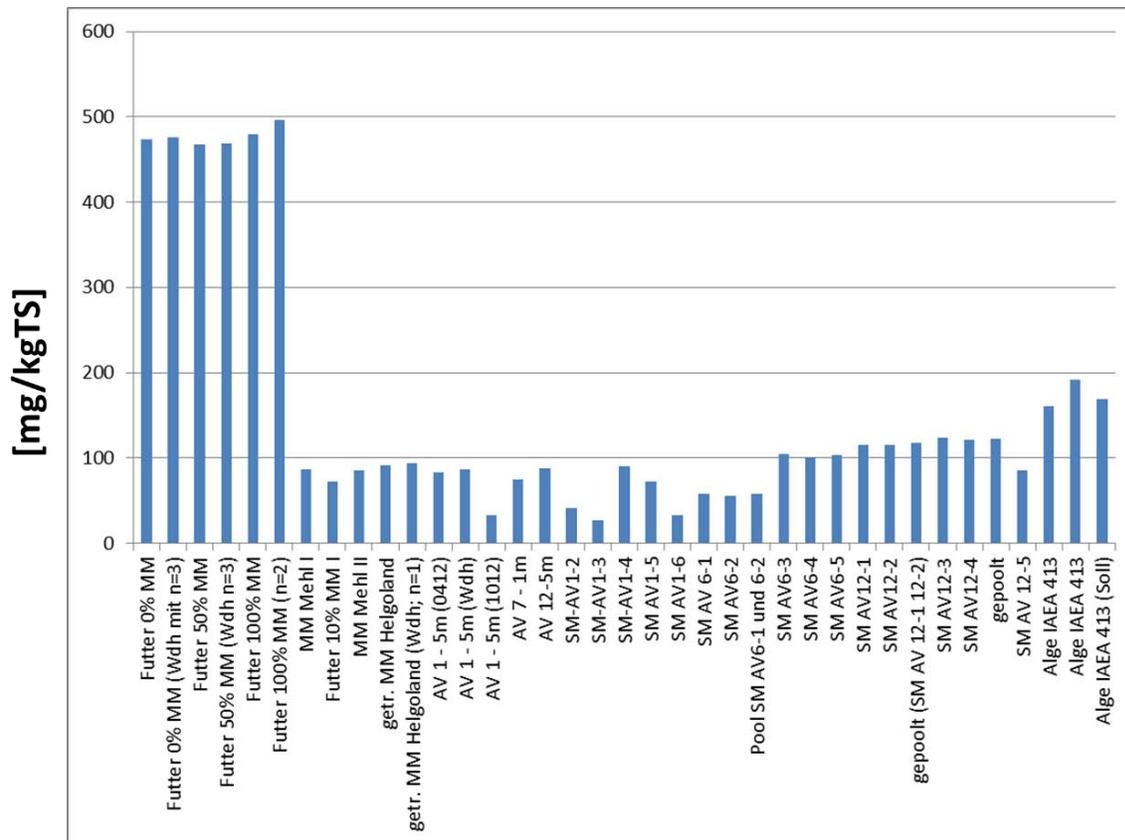


Abbildung 8: Zinkgehalte in den untersuchten Proben. Methodisch wurde die Flammen-AAS (F-AAS) angewendet. Gehalte sind in mg/kg Trockensubstanz angegeben.

Untersuchungen zum Cadmiumgehalt

Abbildung 9 zeigt die Ergebnisse der Cadmiumanalytik in den Proben gemäß Tabelle 5. Methodisch wurde hier die Grafitrohrföfen-AAS angewendet (GF-AAS). Auffällig ist, dass die Cadmiumgehalte in den hergestellten Futtermitteln mit $4\mu\text{g}/\text{kgTS}$ deutlich unterhalb der anderen untersuchten Proben liegt (mindestens Faktor fünf, i.d.R. > Faktor 10). Insbesondere zu den hergestellten Muschelmehlen ist ein großer Unterschied zu beobachten. Diese liegen mit Gehalten von $60 - 170\mu\text{g}/\text{kgTS}$ deutlich höher. Dieser erhöhte Cadmiumanteil spiegelt sich auch im deutlich erhöhten Cd-Gehalt des hergestellten Futters 10%MMI wider. Es wird deutlich, dass das Muschelmehl die Haupteintragsquelle für Cadmium darstellen würde. Zusammengefasst ist daher festzustellen, dass der Cd-Gehalt in den hergestellten Muschelmehlen im Erwartungsbereich liegt, welcher vom Gehalt in den verwendeten Muschelproben definiert wird.

Für die Muscheln ist allgemein festzuhalten, dass sämtliche Werte deutlich unterhalb der für Muscheln geltenden maximalen Cd-Gehalte von $1\text{mg}/\text{kgFS}$ (FS = Frischsubstanz) liegen (*Bundesverband der deutschen Fischindustrie, 2009, Übersicht über Höchstwerte, Richtwerte und Mindestleistungsgrenzen für unerwünschte Stoffe in Fischen, Krebs- und Weichtieren*).

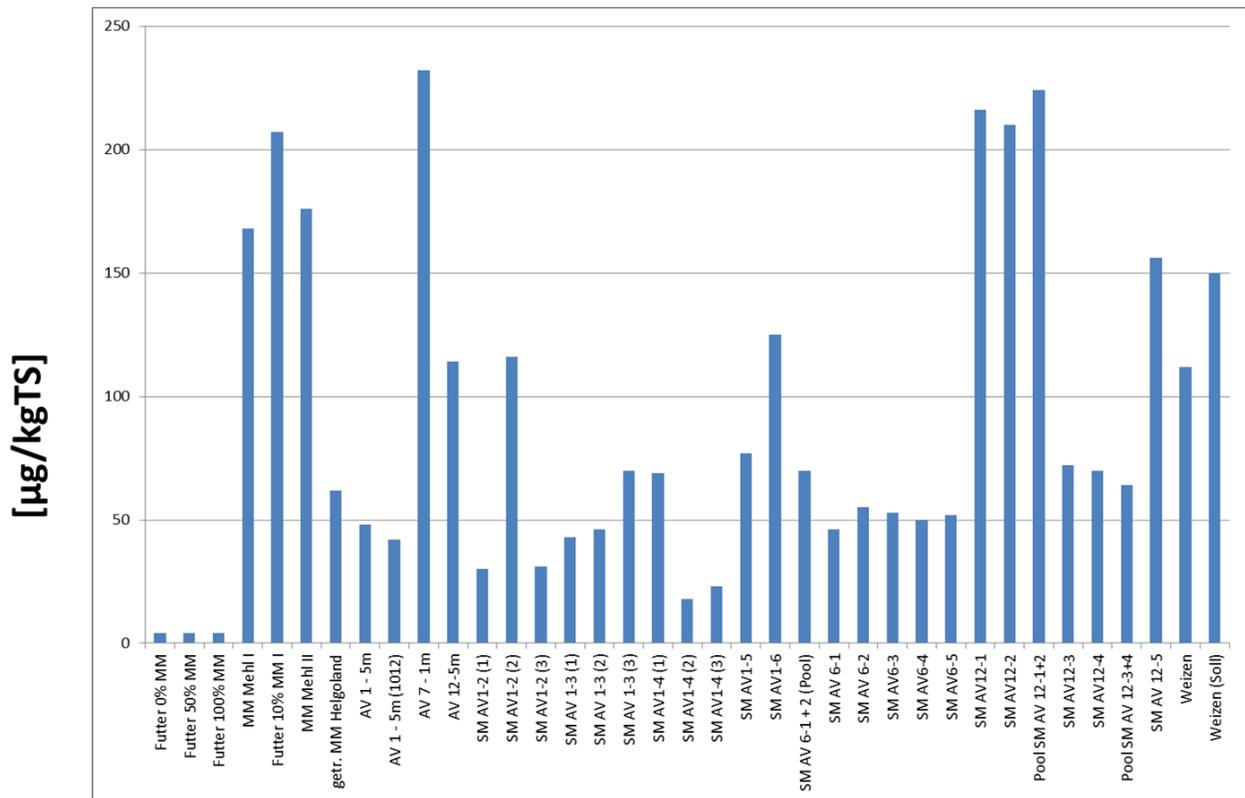


Abbildung 9: Cadmiumgehalte in den untersuchten Proben. Methodisch wurde die Graphitrohrföfen-AAS (GF-AAS) angewendet. Gehalte sind in µg/kg Trockensubstanz angegeben

Aus den Messungen für Cadmium lassen sich daher keine Empfehlungen ableiten. Einzig zum Akkumulationsverhalten sollten bei Verwendung in Fischmehlen ggf. Untersuchungen in Betracht gezogen werden um zu klären, ob eine Anreicherung im Organismus erfolgt und ggf. zu Wachstumshemmungen führen könnte. Da die Hauptanreicherungsorgane in Organismen allerdings Leber und Niere sind und nicht das Muskelfleisch, ist nicht unmittelbar mit negativen Einflüssen für den Endverbraucher zu rechnen.

Untersuchungen zum Bleigehalt

Abbildung 10 zeigt die Ergebnisse der Bleianalytik in den Proben gemäß Tabelle 5. Methodisch wurde hier ebenfalls die Graphitrohrföfen-AAS angewendet (GF-AAS).

Auffällig ist, dass der Pb-Gehalt in den untersuchten Kratzproben sehr hoch ist. Dieses gilt im Übrigen auch für die in der Abbildung nicht gezeigte Probe AV 7-1m (Werte liegen im Bereich der weiteren Kratzproben). D.h. die erhöhten Bleigehalte wurden in Kratzproben unabhängig von der Probenahmetiefe und der Art der Gründungsstruktur (Tripod = AV 7, 12 oder Jacket = AV 1) beobachtet (vgl. Abbildung zu den Probenahmestellen im AlphaVentuspark im IMARE-Teil). Hierbei besteht ggf. die Problematik, dass bei den Kratzproben die Gehalte oberhalb der erlaubten Grenzwerte liegen dürften und eine Verwendung im Bereich der Futtermittelherstellung nicht möglich erscheint. Bevor hieraus allerdings eine allgemeine Empfehlung abgeleitet werden kann, sind weitere Untersuchungen unerlässlich.

Ebenso wurden erhöhte Pb-Gehalte in einzelnen hergestellten Muschelmehlen festgestellt. Die Ursachen hierfür sind noch nicht geklärt und sollten genauer untersucht werden, könnten aber mit den Probenahmeorten auf Helgoland oder an Roter Sand zusammenhängen. Für Muscheln liegt der Grenzwert z.B. bei 1,5 mg/kgFS (*Bundesverband der deutschen Fischindustrie, 2009, Übersicht über Höchstwerte, Richtwerte und Mindestleistungsgrenzen für unerwünschte Stoffe in Fischen, Krebs- und Weichtieren*), d.h. bei den Mehlen MMI und MMII werden – je nach Wassergehalt der Proben- die Grenzwerte möglicherweise überschritten. Hier werden weitere Untersuchungen an den Probenahmestellen empfohlen, auch um festzustellen, ob Miesmuscheln aus diesen Gebieten schon dem Verzehr zugeführt werden.

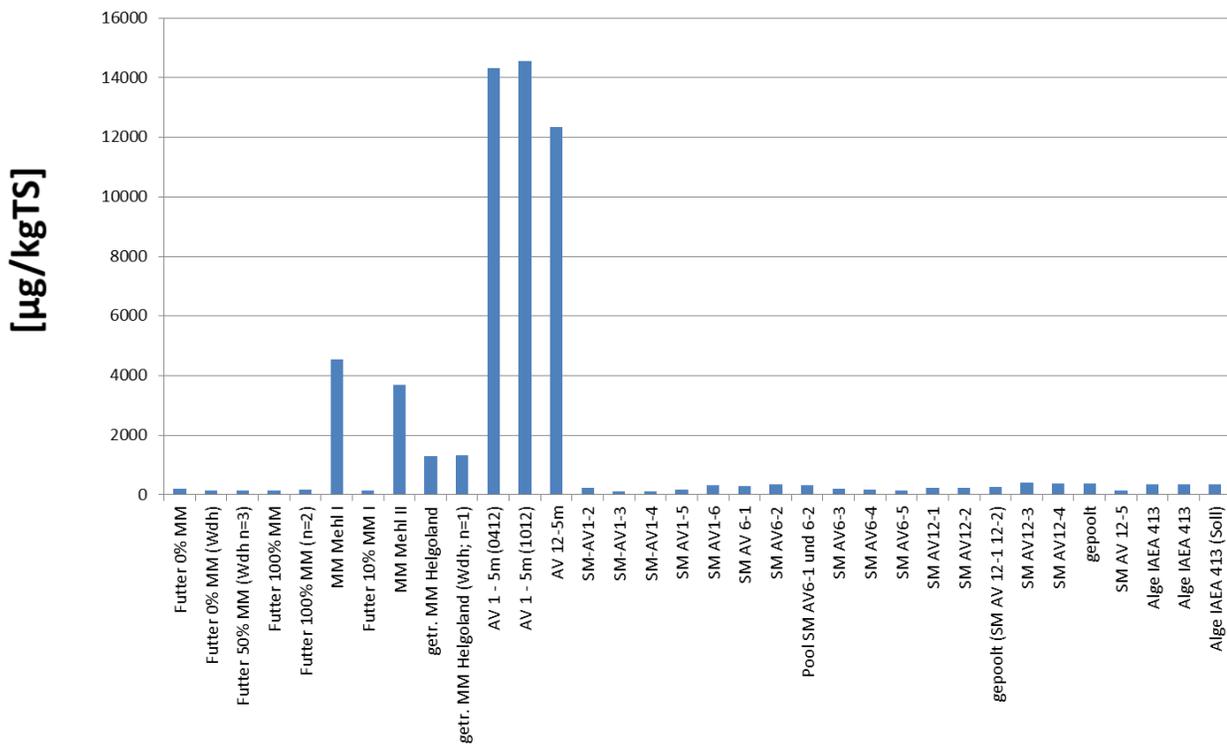


Abbildung 10: Bleigehalte in den untersuchten Proben. Methodisch wurde die Graphitrohrofen-AAS (GF-AAS) angewendet. Gehalte sind in µg/kg Trockensubstanz angegeben

Allgemein ist aber festzuhalten, dass die untersuchten Muscheln aus dem eigentlichen Zielgebiet (Alpha Ventus Windpark) keinerlei erhöhte Gehalte an Blei aufweisen und daher für den Verzehr durch den Menschen, als auch für die Herstellung von Fischfutter problemlos eingesetzt werden könnten.

Aminosäureanalytik

Die Arbeiten zur Aminosäureanalytik konnten in der Projektlaufzeit nicht abgeschlossen werden. Erste Voruntersuchungen als „Proof of Concept“ wurden erfolgreich abgeschlossen. Die eigentliche Untersuchung war wegen Auslaufen des Projektes und eines Schadens an der HPLC allerdings nicht mehr möglich. Abbildung 11 zeigt das Chromatogramm eines Aminosäurestandards (Agilent, Waldbronn, Germany) und Abbildung 12 die Untersuchung einer Muschelprobe.

Offensichtlich ist die chromatografische Auftrennung der Aminosäuren gelungen allerdings ist die Einwaage der Probe noch zu optimieren um in den Messbereich der Methode zu kommen. Der Gehalt an einzelnen Aminosäuren ist deutlich zu hoch. Zudem sind vor dem Routineinsatz der Methode noch Validierungsexperimente hinsichtlich Wiederfindung, Linearität der Methode, Reproduzierbarkeit etc. gemäß ICH Q2R1 notwendig. Daher werden die Ergebnisse nicht weiter kommentiert und sollen nur verdeutlichen, dass die Arbeiten aufgenommen, aber nicht mehr abgeschlossen werden konnten.

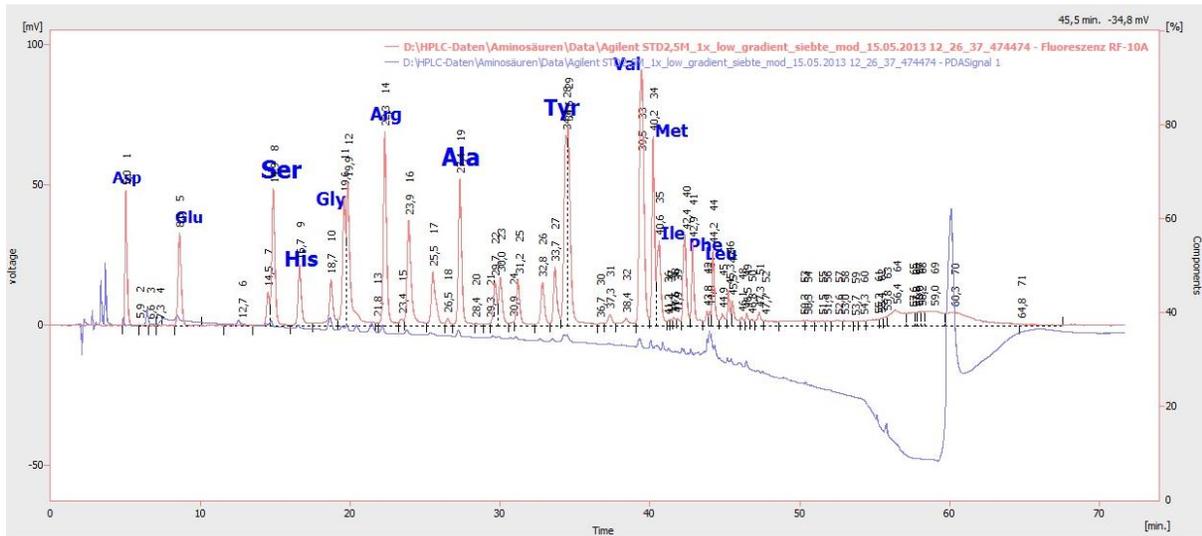


Abbildung 11: Chromatogramm eines Aminosäurestandards (Agilent, Waldbronn, Germany), eindeutig zuzuordnende Aminosäuren sind annotiert.

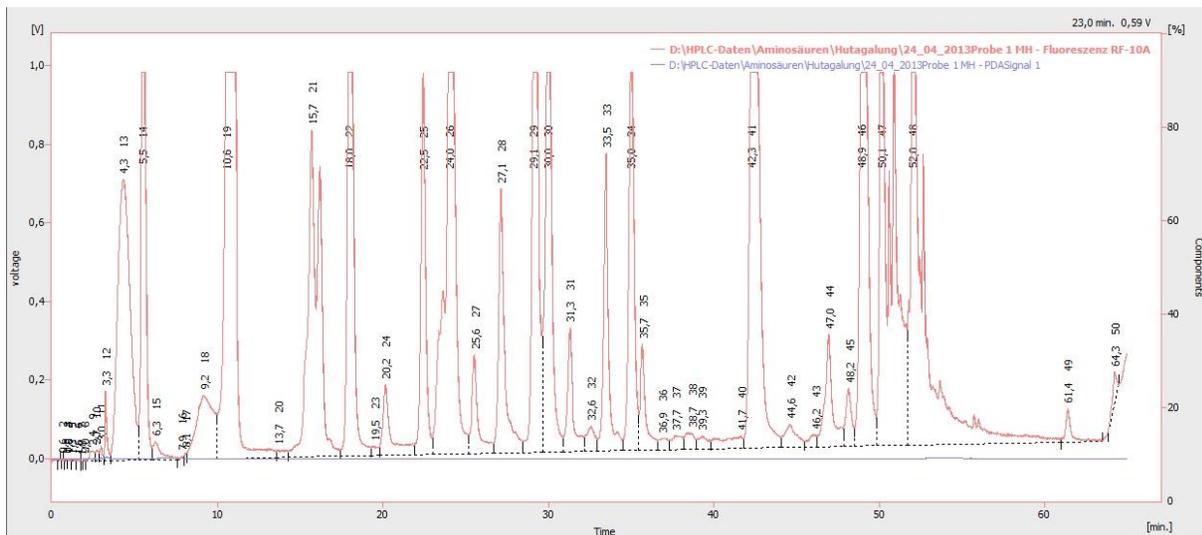


Abbildung 12: Chromatogramm der Aminosäureanalyse einer Muschelprobe

3. Wirtschaftliches Ergebnis des Vorhabens

Die Ergebnisse der Fettsäure- und Schwermetallanalytik sprechen für die Muscheln aus dem Alpha Ventus Windpark nicht gegen die Verwendung der geernteten Muscheln zum Verzehr als auch zur Verwendung in Muschelmehlen.

Hinsichtlich des Zinkgehaltes ist zu beachten, dass ein Zinkdefizit durch die Verwendung weiterer Komponenten mit entsprechend hohem Zinkanteil zu vermeiden ist. Dieses scheint aber durch die Standardherstellungsweise schon sichergestellt zu sein. Des Weiteren deutet die Fettsäureanalytik darauf hin, dass nicht mehr als 50% des Muschelmehls als Additiv im Futteranteil verwendet werden sollte. Ansonsten ist ein Mangel an ungesättigten Fettsäuren zu befürchten, so dass es bei der Verwendung in Fischfuttermehlen zu einer entsprechenden Mangelercheinung (z.B. Wachstumshemmung) kommen könnte. Diese Ergebnisse werden auch von der Schwermetallanalytik unterstützt, wo für Cadmium festgestellt werden konnte, dass die eingesetzten Muschelmehle die Haupteintragsquelle sein könnten und zur Vermeidung eines pot. erhöhten Eintrages an Cd der Anteil an Muschelmehl im herzustellenden Futter nicht voll ausgeschöpft werden sollte.

Für Blei ließen sich in den untersuchten Muscheln aus dem Bereich Alpha Ventus keine erhöhten Gehalte nachweisen, sodass einer Verwendung nichts im Wege steht.

Interessant und untersuchenswert erscheint allerdings die Bleianreicherung an den Gründungsstrukturen. Diese Beobachtung sollte an einem größeren Probenpool verifiziert werden und es sollte ein entsprechendes Tiefenprofil (Probenahme über den gesamten Bereich des Bewuchses) erstellt werden. Zudem sind die Hintergründe dieser Anreicherung zu untersuchen und ggf. Zusammenhänge mit biologisch induzierter Korrosion aufzuklären.

Teilvorhaben Greim Fish Consulting

1. und 2. Durchführung des Vorhabens und Zusammenfassung der Ergebnisse

Geschäftsmodell

Der Muschelbewuchs am Mittelrohr der Tripods im Bereich der Wechselwasserzone soll in Verbindung mit regelmäßigen Kontrollen der Konstruktion auf Korrosion entfernt und gewinnbringend vermarktet werden. Für das schonende Entfernen (=Ernte) wurde eine Erntemaschine entwickelt. Die Maschine operiert von Bord eines Wartungsschiffes aus. Die gewonnenen Muscheln werden schonend aufgefangen, an Bord kühl zwischengelagert und direkt oder mit einem Transportfahrzeug angelandet.

Der Ernteprozess innerhalb von Windparks und direkt an den empfindlichen Windkraftanlagen erfordert neben nautischen und technischen Fähigkeiten auch fischereiliche Erfahrung im Umgang mit dem empfindlichen Lebensmittel Lebende Muschel.

Für eine praktische Realisierung wird daher ein Kooperationsmodell zwischen Windparkbetreiber und Fischereibetrieb (Muschelfischer) als geeignete operationale Lösung vorgeschlagen und für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zu Grunde gelegt:

Der Windparkbetreiber rüstet sein Wartungsschiff mit einer Erntemaschine und den zugehörigen Anlagen (Auffang- und Transporteinrichtungen, Zwischenlager,...) aus.

Der Fischereibetrieb übernimmt die Ware direkt oder zeitnah und sorgt für Transport, Anlandung und Vermarktung beim Großhandel oder der Fischmehlfabrik.

Die Bedienung der Erntemaschine und die Erstbehandlung der Ware an Bord des Wartungsschiffs werden gemeinsam durch ein Besatzungsmitglied des (anwesenden) Fischereifahrzeugs und durch ein Besatzungsmitglied des Wartungsschiffs durchgeführt.

Basisannahmen für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Erntefläche je Anlage

- Angenommene nutzbare Wasserzone: 4 m, s. Zwischenbericht
- Tripod, 6 m Durchmesser : Erntefläche: 75,4 m²
- (Monopile, 2.5 m Durchmesser: Erntefläche: 31,4 m²)

Erntemenge je Anlage (Tripod)

Flächenertrag: 40 kg/m², angenommen nach Joschko et al. 2008

Erntemenge/Anlage(Tripod): 3,02 t

Erntefrequenz.: alle 2 Jahre

Durchschnittliche Erntemengen pro Tripod und Jahr: 1,5 t/a

Entwicklung der maximalen Ernteflächen und Erntemengen entsprechend dem Ausbau der Windparks

Für die Betrachtung der möglichen Größenordnung der zu erwartenden Ernteflächen werden folgende sehr vereinfachte und sehr grobe Ausbauszenarien für Windkraftanlagen im Bereich der deutschen Nordsee angenommen:

		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Szenario gleichmäßiges Wachstum (High-Case)										
MW		200	326	532	867	1414	2306	3761	6132	10000
Anzahl Anlagen		56	82	133	217	354	577	940	1533	2500
Fundamente	<i>Anteil</i>									
Tripods (Anzahl)	0,5	28	41	66	108	177	288	470	767	1250
Jackets (Anzahl)	0,5	28	41	66	108	177	288	470	767	1250
Szenario BTM-Report										
MW		200	400	1783	2867	4117	5387	6637	7887	9237
Anzahl Anlagen		56	100	446	717	1029	1347	1659	1972	2309
Fundamente	<i>Anteil</i>									
Tripods (Anzahl)	0,5	28	50	223	358	515	673	830	986	1155
Jackets (Anzahl)	0,5	28	50	223	358	515	673	830	986	1155
Szenario Projektwachstum										
MW		200	400	1783	2867	4117	5387	6621	8137	10000
Anzahl Anlagen		56	100	446	717	1029	1347	1655	2034	2500
Fundamente	<i>Anteil</i>									
Tripods (Anzahl)	0,5	28	50	223	358	515	673	828	1017	1250
Jackets (Anzahl)	0,5	28	50	223	358	515	673	828	1017	1250
Szenario Tennet (Low-Case)										
MW		200	400	1783	2867	4117	5387	5387	5387	5387
Anzahl Anlagen		56	100	446	717	1029	1347	1347	1347	1347
Fundamente	<i>Anteil</i>									
Tripods (Anzahl)	0,5	28	50	223	358	515	673	673	673	673
Jackets (Anzahl)	0,5	28	50	223	358	515	673	673	673	673

Für unsere Betrachtungen werden zwei mögliche Szenarien (Tennet und BTM) für die Größenordnung der **maximal** zu erwartenden Erntemengen ausgewählt:

	„Tennet (Low-Case)“		„BTM Report“	
	Anzahl Tripods	max. Ernte (tpa)	Anzahl Tripods	max. Ernte (tpa)
Jahr 2014	223	335	223	335
Jahr 2017	673	1.010	673	1010
Jahr 2020	673	1.010	1155	1.733

Erntezeitraum

Die regelmäßige Überprüfung der Windkraftanlagen per Schiff kann lt. 1. Zwischenbericht wetterbedingt nur an durchschnittlich 73 Tagen pro Jahr durchgeführt werden.

Es wird unterstellt, dass die Ernte in Verbindung mit diesen Prüfungen nur in den Monaten März bis Oktober an insgesamt maximal 73 Tagen erfolgt.

Dauer eines Erntevorgangs je Windkraftanlage

Die Dauer des Erntevorgangs einschließlich des Versetzens und An- und Abkoppelns wird mit 3 h angenommen. Wegen der Verbindung mit den Wartungs- und Prüfarbeiten, die die zeitliche Taktung für die Ernte vorgeben, werden für die Berechnung durchschnittlich 2 Erntevorgänge pro Tag angenommen, wobei bis zu 3 möglich sind.

Kapazität der Erntemaschine

Die angenommene Nennleistung der Erntemaschine beträgt 2 Windkraftanlagen oder 6 t pro Tag. Bei jährlich 73 Einsatztagen resultiert daraus eine Kapazität von 146 Anlagen oder 440 t p.a.. Dies entspricht bei zweijährlicher Ernte 292 Windkraftanlagen oder etwa 3,5 Windparks mit je 80 Tripods. Die Kapazität einer Erntemaschine ist damit ausreichend für das Szenario „Tennet 2014“ bei einer Kapazitätsauslastung von 77%.

Produktqualität

Die Ernterversuche haben ergeben, dass mit dem verwendeten Verfahren die Muscheln zum größten Teil unversehrt geerntet werden können. Wegen der Lage der Windkraftanlagen im offenen Wasser ist eine Sortierung und Reinigung aber keine Entsandung der Ernte erforderlich.

Es wird in erster Näherung angenommen, dass die Erntemenge von 40 kg/m² zu 80% bzw. 32 kg/m² marktfähige Konsumware und 20% bzw. 8 kg/m² Ware für Futterzwecke erbringt.

Verwertung der Erntemengen

Die beschriebene Produktqualität lässt grundsätzlich zwei Vermarktungsoptionen zu:

- Vermarktung als Konsumware für den menschlichen Verzehr
- Biomasseverwertung für Futterzwecke

Die Verwertung als Biomasse für Futterzwecke ist die technologisch und organisatorisch wesentlich einfachere Option. Eine ausschließliche Vermarktung als Konsumware scheidet aus Qualitätsgründen und wegen der Saisonalität des Absatzes aus (s.u.).

Für die nachfolgende Bewertung der Wirtschaftlichkeit wird daher schwerpunktmäßig eine kombinierte Verwertung Konsumware/ Futter untersucht.

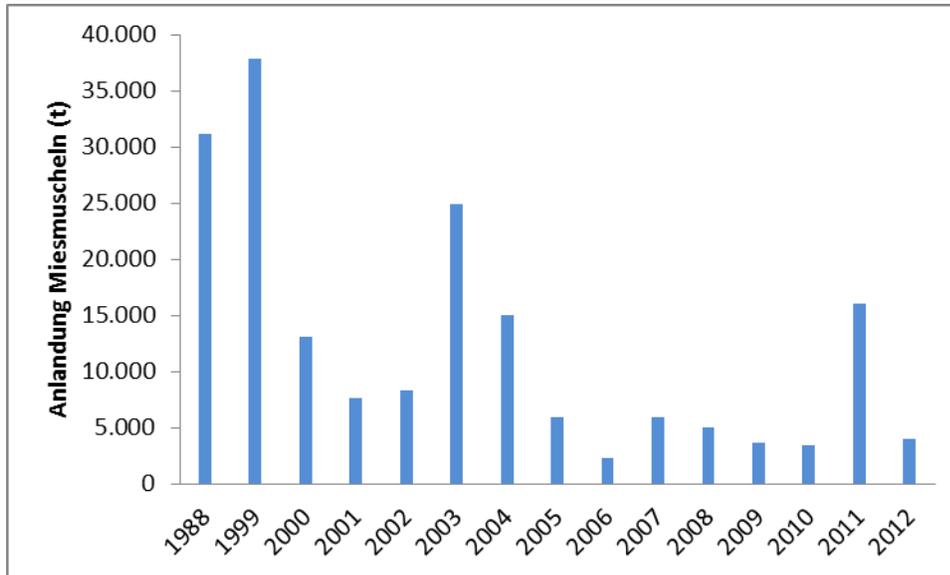
Erzeugung und Marktübersicht für Miesmuscheln in Deutschland/ Marktchancen

Quellen: BLE, BVFI

Alle Mengenangaben in t Anlandegewicht

Alle Erlöse in €/kg Anlandegewicht, (Erzeugerpreise), für den menschlichen Konsum

Mengenentwicklung der deutschen Anlandungen im Inland 1988-2012



Deutsche Inlandsanlandungen und Importe

Quelle BLE

	Ø 2005 - 2009		2010		2011	
	t	€/kg	t	€/kg	t	€/kg
Deutsche Inlandsanlandungen	12.500	2,96	3.500	0,95	16.100	1,55
Importe	18.600	0,69	11.100	1,16	12.200	0,99
Gesamt	31,100	1,60	14.600	1,10	28.300	1,30

Deutsche Inlandsanlandungen und Preise pro Quartal und Monat.

Quelle BLE

Zeitraum 2011	t	€/kg
Q 1	1.350	0,78
Q2	650	0,30
Q3	11.360	1,84
Q4	2.710	1,02

Monat	t				€/kg			
	2009	2010	2011	2012	2009	2010	2011	2012
Mai	0	188	238	0	-	0,09	0,09	-
Juni	0	0	0	0	-	-	-	-
Juli	140	30	1.354	19	1,25	1,30	1,90	?? 2,30
August	142	103	3.418	513	1,45	1,24	1,87	1,57
September	318	109	2.580	482	1,45	1,02	1,39	2,28
Oktober	148	916	530	490	1,45	0,91	1,26	2,29

Mengenbetrachtung für den Absatz der Erntemengen aus den Windkraftanlagen

Die kumulierten Anlandemengen der deutschen Muschelfischerei in der für die Ernte bei den Windkraftanlagen relevanten Zeit von Mai bis Oktober schwanken im Jahresvergleich 2009 bis 2012 sehr stark, etwa zwischen 800 t und 8.000 t. Im Markt können fehlende Mengen, außer in extrem schlechten Erntejahren, durch Importe aus der EU (vorwiegend aus Aquakultur) ausgeglichen werden.

Betrachtet man die deutsche Gesamterzeugung, dann bestehen bei der ersten Ausbaustufe Tennet 2014 mit 3 Windparks / 220 Tripods grundsätzlich sehr gute Absatzchancen ohne signifikante Marktstörungen für eine überwiegende Vermarktung der Ernte als Konsumware. Bei wesentlich größeren Mengen im Verhältnis zur bestehenden Fischerei könnten geringe Marktstörungen mit Einflüssen auf die Erzeugerpreise nicht ausgeschlossen werden. Dies könnte bereits zum Ende der Ausbaustufe Tennet 2017-2020 mit 8 Windparks/ 670 Tripods und ca. 500 t Konsumware eintreten.

Die Vermarktung der anfallenden Mengen in den Monaten Mai und Juni als Konsumware für den menschlichen Verzehr bleibt schwierig. Diese Monate sind keine „Muschelmonate“ und die Anlandungen sind traditionell sehr gering. Die Einkaufsmengen der Haushalte für Fisch- und Fischerzeugnisse (gesamt) zeigen lt. GfK und FIZ ein Tief in den Monaten Mai bis August. Andererseits bestehen in der Haupturlaubssaison an der Küste gute Absatzchancen in der Gastronomie.

Eine komplette Verwertung der im Mai und Juni anfallenden Erntemengen im Futterbereich muss daher für eine kommerzielle Bewertung unterstellt werden.

Im Futterbereich gibt es wegen des weiterhin stark zunehmenden Bedarfs der Aquakultur auch langfristig sehr gute Marktchancen bei steigenden Preisen. Allerdings bleiben die Erlöse weiter signifikant unter den Erlösen für Konsumware.

Abschätzung der Verkaufserlöse

Konsumware für den menschlichen Verzehr (für eine Zusatzmenge von 200-500 t)

Aus den statistischen Unterlagen ist eine realistische Abschätzung der Erzeugerpreise für Konsumware für die Monate Mai und Juni wegen der zu geringen Mengenbasis nicht möglich.

Für die 4 Monate Juli bis Oktober wurde aus dem Jahresvergleich 2009 bis 2012 ein durchschnittlicher Erzeugerpreis von **€ 1,65 /kg** (Basis 2012) abgeleitet. Dabei wurde eine jährliche Preissteigerung von 5% für die Jahre 2009 bis 2011 angenommen. Bei einer Preissteigerungsrate von 3% würde die angenommene Erzeugerpreisbasis € 1,61 /kg betragen.

Der Erzeugerpreis gilt für frische Ware bei Anlieferung im Hafen/beim Großhandel.

Rohware für die Produktion von Muschelmehl

Es gibt vielversprechende Versuche mit der Herstellung von Muschelmehl mit hohem Calcium Gehalt für die Fütterung von Geflügel.

In einer ersten Modellrechnung der VFC Cuxhaven wurde ein erzielbarer Verkaufserlös für das Muschelmehl aus ganzen Muscheln geschätzt von € 850,- /t. Die Schätzung für die Produktionskosten beträgt € 450,- /t Muschelmehl. Die Ausbeute wird mit 20% für nasse Ware angenommen.

Anlieferung der Muscheln an der lokalen Annahmestation:

- lose oder im Behälter
- nass, kühl (nicht gekühlt!)

Verkaufserlös Muschelmehl	850 €/t
÷ Produktionskosten	450 €/t
Verbleibender Rohwareneinsatz	400 €/t

Bei 20% Ausbeute resultiert hieraus ein Erzeugerpreis von € 80/t bzw. € 0,08/kg Muscheln.

Bei konstanter Lieferung größerer Mengen während der gesamten Ernteperiode von Mai bis Oktober ist bei optimistischer Betrachtung eine Vermarktung als spezielles kalziumreiches Muschelmehlfutter möglich. Ein dann erzielbaren Futtermehlpriß von € 1.450/t würde einen Erlös von € 0,20/kg Muscheln anstelle von € 0,08/kg ergeben.

Rohware für die Herstellung von Muschelfleisch für Verwendung als Konsumware oder zur Weiterverarbeitung für Spezialprodukte im Futterbereich

Diese Möglichkeiten bestehen grundsätzlich und haben speziell im Futterbereich gute mengenmäßige Marktchancen. Sie wurden jedoch in dieser Machbarkeitsstudie nicht weiter verfolgt, da davon ausgegangen werden kann, dass bei der derzeitigen und weiter zu erwartenden Marktsituation damit kaum ein höherer Erlös als für frische Konsumware erzielbar ist.

Zudem wären für derartige neue Produkte zuerst Entwicklungsarbeiten und die Untersuchung der Vermarktungsmöglichkeiten erforderlich.

Kalkulation der Verkaufserlöse

Basisvariante „1 Windpark mit 80 Anlagen“

Annahmen:

- Ernterhythmus: alle 2 Jahre
- Ernte an 80 Tripods, d.h. 40 p.a.
- Mai und Juni: Verkauf zu 100% an Fischmehlfabrik zu 0,08 €/kg
- Juli bis Oktober Verkauf zu 80 % als Konsumware und 20% an Fischmehlfabrik zu ø 1,34 €/kg
- Durchschnittlicher Verkaufserlös (Jahresbasis) 0,91 €/kg
- Gleichmäßige Verteilung der Erntetage über die 6 Erntemonate
- Preisbasis 2012
- Einsatz von 1 Erntemaschine

Verkaufserlöse p.a.

Monat	Windpark mit 80 Anlagen	
	t	`000 €
Mai-Juni	40	3,2
Juli-Oktober	80	107,2
Mai-Oktober	120	110,4

Durchschnittlicher Verkaufserlös pro Erntetag: 5.500 € (bei 20 Erntetagen, s. u.)

Best-case zur Basisvariante

Geänderte Annahmen gegenüber Basisvariante:

- Anstieg der Erzeugerpreise für Konsumware um + 10 % von 1,65 €/kg auf € 1,81 €/kg
- Anstieg der Preise für Futtermehl von 850 €/t auf 1.000 €/t und damit Erhöhung der Rohwarenpreise von 80€/t auf 110 €/t
- Mai und Juni: Verkauf der Ernte zu 40% als Konsumware für 1,81 €/kg und zu 60% 0,11 €/kg für Futterzwecke
- Durchschnittlicher Verkaufserlös (Jahresbasis) 1,25 € /kg
- Kapazität der Erntemaschine erhöht von 2 auf 3 Anlagen oder 9 t pro Tag

Verkaufserlös p.a.

Monat	Windpark mit 80 Anlagen	
	t	`000 €
Mai + Juni	40	31,6
Juli- Oktober	80	117,6
Mai- Oktober	120	149,2

Durchschnittlicher Verkaufserlös pro Erntetag: € 10.700 (bei 14 Erntetagen, s.u.)

Gegenüber der Basisvariante steigt der Verkaufserlös um € 39.000 oder 35%

Worst case Variante zur Basisvariante

Geänderte Annahme gegenüber Basisvariante:

- Um 33% geringere Ernteleistung der Erntemaschine: im Durchschnitt 1,3 Anlagen entsprechend 4,0 t pro Tag
- Keine Veränderung der Verkaufserlöse

Verkaufserlös p.a. (wie Basisvariante 5.1.)

Monat	Windpark mit 80 Anlagen	
	t	`000 €
Mai-Juni	40	3,2
Juli-Oktober	80	107,2
Mai-Oktober	120	110,4

Durch die verringerte Ernteleistung sinkt der durchschnittliche Verkaufserlös pro Erntetag auf € 3.600 gegenüber € 5.500 bei der Basisvariante.

Fall-back Variante „Futtermehl“ zur Basisvariante

Geänderte Annahme gegenüber Basisvariante.

- Ausschließliche Verwertung für Futtermehl aus ganzen Muscheln
- Verkaufserlös Mai-Oktober : 0,08 €/kg

Verkaufserlös p.a.: 120 t x 80 € p.t. = € 10.000 (gegenüber 110.400 bei der Basisvariante)

Erlös pro Erntetag: € 500 (gegenüber € 5.500 bei der Basisvariante)

Variante „Hochpreisiges Futtermehl“

- Höherer Verkaufserlös auf Basis VP Futtermehl von 1.450 €/t
- Verkaufserlös Mai-Oktober: 0,20 €/kg

Verkaufserlös p.a.: € 24.000 (gegenüber 110.400 bei der Basisvariante)

Erlös pro Erntetag: € 1.200 (gegenüber € 5.500 bei der Basisvariante)

Ausbaustufe „Tennet 2014“ mit 3 Windparks/223 Anlagen

Annahmen :

- Ausbau der Windkraftanlagen entsprechend Tennet 2014 (223 Anlagen, ±3 Windparks)
- Sonstige Annahmen wie Basisvariante:
 - o Mai und Juni: Verkauf zu 100% an Fischmehlfabrik für 0.08 €/kg
 - o Juli bis Oktober: Verkauf zu 80% als Konsumware zu € 1,65/kg und 20% zu € 0,08/kg d.h. im Durchschnitt zu € 1.34/kg
 - o Durchschnittlicher Verkaufserlös (Jahresbasis) : € 0,91 /kg
 - o Preisbasis 2012
 - o Einsatz von 1 Erntemaschine

Verkaufserlöse p.a.

Tennet 2014 mit 223 Anlagen		
	t	`000 €
Mai-Juni	112	9
Juli-Oktober	223	299
Mai-Oktober	335	308

Durchschnittlicher Verkaufserlös pro Erntetag: € 5.500 (bei 56 Erntetagen, s.7.6.)

Bei gleichem durchschnittlichen Verkaufserlös pro Erntetag wie bei der Basisvariante steigt der Jahreserlös entsprechend der Verkaufsmenge von € 110.400 auf € 308.000.

Ausbaustufe „Tennet 2017-2020“ mit 673 Anlagen (± 8 Windparks)

Annahmen:

- 673 Windkraftanlagen (etwa die dreifache Anzahl wie bei “Tennet 2014 mit 223 Anlagen“)
- Einsatz von 3 Erntemaschinen mit einer Gesamtleistung von 18 t.p.d.
- Sonstige Annahmen wie Basisvariante 5.1.

Verkaufserlöse p.a.

673 Anlagen		
	t	`000 €
Mai-Juni	337	27
Juli-Oktober	673	902
Mai-Oktober	1010	929

Durchschnittlicher Verkaufserlös pro Erntetag : € 16.600 (bei 56 Erntetagen, s.7.7.)

Variante „Hochpreisiges Futtermittel“ zu „Ausbaustufe Tennet 2017-2020“

Annahmen:

- 100% Verwertung als Futtermittel aus ganzen Muscheln
- Wegen konstanter Lieferung größerer Mengen für die gesamte Ernteperiode von Mai bis Oktober wird angenommen, dass durch die Entwicklung eines speziellen Muschelmehlfutters regelmäßig ein höherer Rohwarenpreis von 0,20 €/kg (s.o) erzielt werden kann

Verkaufserlös: 1010 t x 200 €/t = € 202.000 p.a.

Erlös pro Erntetag : € 3.600 (bei 56 Erntetagen)

Investitionen

Erntemaschine

Die Investition für das Reinigungs- und Erntegerät wird von tkb geschätzt mit:

minimal. € 58.000 , angenommen: € 118.000.

Für Zuleitungen, Anschlüsse und Einrichtungen auf dem Wartungsschiff werden zusätzlich 25% = € 30.000 kalkuliert.

Auffang- und Transportvorrichtung

Für die zusätzlich erforderliche Auffang- oder Absaugeinrichtung in seewasserfester Ausführung hat tkb für die Mammutpumpe ein Angebot über € 30.000.

Für Rohrleitungen, Anschlüsse, Transport und Montage werden zusätzlich € 40. 000 angenommen.

Die Gesamtkosten werden mit € 70.000 angenommen.

Zwischenlager auf dem Wartungsschiff

Tank für die geernteten Muscheln in der Grundfläche eines 20 ft. Containers

Angenommen: € 50.000

Gesamtinvestitionen für „Basisvariante 1 Windpark mit 80 Anlagen“ und „Ausbaustufe Tennet 2014 mit 223 Anlagen“

1 Erntemaschine	120.000
Leitungen, Anschlüsse	30.000
1 Auffang- und Transporteinrichtung	70.000
1 Zwischenlagertank	50.000
Gesamt	270.000

Gesamtinvestition für „ Ausbaustufe Tennet 2017-2020 mit 673 Anlagen“

Für diese Ausbaustufe müssen 3 Wartungsschiffe mit Erntemaschine und zugehörigen Anlagen ausgerüstet werden. Die Investitionen pro Anlage werden gegenüber der Schätzung für die erste (Pilot) Anlage rund 20% niedriger angesetzt.

3 Erntemaschinen	300.000
Leitungen, Anschlüsse	60.000
3 Auffang- und Transporteinrichtungen	180.000
3 Zwischenlagertanks	100.000
Gesamt	640.000

Betriebskosten

Für diese Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Betriebskosten als die reinen zusätzlichen Kosten definiert, die für den Erntevorgang anfallen, inklusive Abschreibungen und Wartung/Instandhaltung für die ausschließlich hierfür angeschafften Anlagen.

Betriebskosten p.a. für „Basisvariante 1 Windpark mit 80 Anlagen“

Annahmen:

- Einsatz von 1 Erntemaschine mit einer Kapazität von 6 t.p.d. (Ernte an 2 Tripods)
- Anzahl Erntetage: 20
- Kapazitätsauslastung: 27%

	€
Abschreibung 7% auf 270.000	20.000
Zus. Personal Wartungsschiff 20 Tage x € 500	10.000
Energie, Verbrauchsmaterial	2.000
Wartung und Instandhaltung 5% der Investition	14.000
Betriebskosten Fischereifahrzeug einschl. 1 Person für Erntegerät 20 Tage x € 1.200	24.000
Gesamt	70.000

Betriebskosten pro t Muscheln: € 580 /t

Betriebskosten p.a. für Best Case zur „Basisvariante 1 Windpark mit 80 Anlagen“

Annahmen:

- Einsatz von 1 Erntemaschine mit Leistungssteigerung von 6 auf 9 t.p.d. (2 auf 3 Tripods)
- Anzahl Erntetage: 14
- Kapazitätsauslastung: 19%

	€
Abschreibungen 7 %	20.000
Zus. Personal Wartungsschiff 14 Tage x € 500	7.000
Energie, Verbrauchsmaterial	2.000
Wartung und Instandhaltung 5% der Invest.	14.000
Betriebskosten Fischereifahrzeug einschl. 1 Person für Erntegerät 14 Tage x € 1.200	17.000
Gesamt	60.000

Betriebskosten pro t Muscheln € 500 /t (gegenüber € 580 /t bei der Basisvariante)

Gegenüber der Basisvariante sinken die Betriebskosten p.a. durch die höhere Ernteleistung um € 10.000 (15%).

Betriebskosten p.a. für Worst Case zur „Basisvariante 1 Windpark mit 80 Anlagen“

Annahme:

- Einsatz von 1 Erntemaschine mit einer um 33% reduzierten Leistung von durchschnittlich 6 auf 4 t.p.d. (2 auf 1,3 Tripods)

	€
Abschreibung 7 %	20.000
Zus. Personal Wartungsschiff 30 Tage x € 500	15.000
Energie	2.000
Wartung und Instandhaltung 5% der Investition	14.000
Betriebskosten Fischereifahrzeug einschl. 1 Person für Erntegerät 30 Tage x € 1.200	36.000
Gesamt	87.000

Betriebskosten pro t Muscheln: € 725/t (gegenüber € 580 /t bei der Basisvariante)

Gegenüber der Basisvariante steigen die Betriebskosten p.a. durch geringere Ernteleistung um € 17.000 (25%)

Betriebskosten p.a. für Variante „Futtermehl“

Betriebskosten p.a. für Variante „Hochpreisiges Futtermehl“

Betriebskosten p.a. für „Ausbaustufe Tennet 2014 mit 223 Anlagen“

Annahmen:

- Einsatz von 1 Erntemaschine mit einer Kapazität von 6 t.p.d. (2 Tripods)
- Anzahl Erntetage: 56
- Kapazitätsauslastung: 77%

	€
Abschreibung 7%	20.000
Zus. Pers. Wartungsschiff 56 Tage x € 500	28.000
Energie, Material	6.000
Wartung und Instandhaltung 5% der Investition	14.000
Betriebskosten Fischereifahrzeug einschl. 1 Person für Erntegerät 56 Tage x € 1.200	67.000
Gesamt	135.000

Betriebskosten pro t Muscheln: € 400/t

Die um € 180 /t Muscheln niedrigeren Betriebskosten gegenüber der Basisvariante 7.1. resultieren aus der etwa 3-mal so hohen Kapazitätsauslastung.

Betriebskosten p.a. für „Ausbau Tennet 2017-2020“ mit 673 Anlagen“

Annahmen:

- Einsatz von 3 Erntemaschinen mit einer Gesamtkapazität von 18 t.p.d. (6 Tripods)
- Anzahl Erntetage: 56
- Kapazitätsauslastung bei 3 Erntemaschinen: 77%

	€
Abschreibung 7% auf € 640.000	45.000
3 zus. Pers. Wartungsschiffe 56 Tage x € 1.500	84.000
Energie, Material	15.000
Wartung und Instandhaltung 5% der Investition	32.000
Betriebskosten Fischereifahrzeuge einschließlich Pers. für Erntegeräte 56 Tage x € 2.700	151.000
Gesamt	327.000

Betriebskosten pro t Muscheln: € 320 /t.

Die niedrigeren Betriebskosten pro t gegenüber der kleineren Ausbaustufe „Tennet 2014“ resultieren im Wesentlichen aus unterstellten Economy of scale Effekten.

Betriebskosten „Hochpreisiges Futtermehl zu Tennet 2017-2012“

Betriebsergebnisse / Wirtschaftlichkeitskennzahlen

Für folgende Varianten werden die Betriebsergebnisse für ein Normaljahr **auf Basis von reinen Zusatzkosten (fix und variabel)** dargestellt:

- Basisvariante „1 Windpark mit 80 Windkraftanlagen“
- Best case Variante zu 8.1. Basisvariante
- Worst case Variante zu 8.1. Basisvariante
- Variante „Futtermehl“ zu 8.1. Basisvariante
- Variante „Hochpreisiges Futtermehl“ zu 8.1. Basisvariante
- „Ausbau Tennet 2014 mit 223 Anlagen“
- „Ausbau Tennet 2017-20 mit 673 Anlagen“
- Variante „Hochpreisiges Futtermehl“ zu 8.7. „Tennet 2017-20“

Abschätzung der Wirtschaftlichkeit - Discounted Cash Flow Methode und Pay back Periode

Für die Varianten Basisvariante „1 Windpark mit 80 Windkraftanlagen“, Best case Variante zu Basisvariante, Worst case Variante zu Basisvariante und „Ausbau Tennet 2014 mit 223 Anlagen“ wurden zur weiteren Abschätzung der Wirtschaftlichkeit der Investition die Rendite nach der Discounted Cash Flow Methode und die Pay back Periode ermittelt.

Basisvariante „1 Windpark mit 80 Anlagen“

Annahmen	
Erntemenge	120 t
Erntetage	20 Tage mit 1 Erntemaschine
Vermarktung	53% Konsumware (2 Monate 0%, 4 Mon. 80%)
Verkaufserlöse Konsumware	€ 1,65 / kg
Verkaufserlös Futtermehlware	€ 0,08 / kg
∅ Verkaufserlös	€ 0,91 / kg

	`000 € p.a.
Verkaufserlöse	110
Zusätzliche Betriebskosten Parkbetreiber	-46
Betriebskosten Fischereibetrieb	-24
Betriebsergebnis	40

Die DCF Rendite für die Investition von € 270.000 beträgt 26,3 % (vor Steuern), die Pay back Periode liegt bei rund 4,5 Jahren.

8.1. Basisvariante " 1 Windpark mit 80 Tripods"

Jahr		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Erträge:	Verkaufserlöse	110.000	110.000	110.000	110.000	110.000	110.000	110.000	110.000	110.000	110.000
	Restwert Investitionen										81.000
Investitionen	Investitionen	270.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Zuschüsse	0									
Kosten	Kosten	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000
	Afa	18.900	18.900	18.900	18.900	18.900	18.900	18.900	18.900	18.900	18.900
cash flow (vor Steuern)		(210.000)	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	141.000
Rendite		26,3% vor Steuern									
Cash flow in 10 Jahren:		411.000,00 €									
Pay back:		rund 4,5 Jahre									

Best Case Variante zur Basisvariante „1 Windpark mit 80 Anlagen“

Annahmen	
Erntemenge	120 t (wie Basisvariante)
Erntetage	14 Tage (-33%) mit 1 Erntemaschine
Vermarktung	67% Konsumware (2 Mon. 40%, 4 Mon. 80%)
Verkaufserlös Konsumware	€ 1,81 / kg (+ 10%)
Verkaufserlös Futtermehlware	€ 0,11 / kg (+ 37 %)
∅ Verkaufserlös	€ 1,25 / kg (+ 37 %)

	`000 € p.a.
Verkaufserlöse	149
Zusätzliche Betriebskosten Parkbetreiber	-43
Betriebskosten Fischereibetrieb	-17
Betriebsergebnis	89

Die DCF Rendite für die Investition von € 270.000 beträgt 67,4 % (vor Steuern), die Pay back Periode liegt bei rund 2,5 Jahren.

8.2. Best case zur Basisvariante " 1 Windpark mit 80 Tripods"

Jahr		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Erträge:	Verkaufserlöse	149.000	149.000	149.000	149.000	149.000	149.000	149.000	149.000	149.000	149.000
	Restwert Investitionen										81.000
Investitionen	Investitionen	270.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Zuschüsse	0									
Kosten	Kosten	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000
	Afa	18.900	18.900	18.900	18.900	18.900	18.900	18.900	18.900	18.900	18.900
cash flow (vor Steuern)		(161.000)	109.000	109.000	109.000	109.000	109.000	109.000	109.000	109.000	190.000
Rendite		67,4% vor Steuern									
Cash flow in 10 Jahren:		901.000,00 €									
Pay back:		rund 2,5 Jahre									

Worst Case zur Basisvariante „1 Windpark mit 80 Anlagen“

Annahmen	
Erntemenge	120 t (wie Basisvariante 8,1.)
Erntetage	30 Tage (+50 %) mit 1 Erntemaschine
Vermarktung	53% Konsumware (wie Basisvariante 8.1.)
Verkaufserlös Konsumware	€ 1,65 /kg (wie Basisvariante 8.1.)
Verkaufserlös Futtermehlware	€ 0.08 /kg (wie Basisvariante 8.1.)
∅ Verkaufserlös	€ 0,91 /kg (wie Basisvariante 8.1.)

	`000 € p.a.
Verkaufserlöse	110
Zusätzliche Betriebskosten Parkbetreiber	-51
Betriebskosten Fischereibetrieb	-36
Betriebsergebnis	23

Die DCF Rendite für die Investition von € 270.000 beträgt 15,1 % (vor Steuern), die Pay back Periode liegt bei rund 6.5 Jahren.

8.3. Worst case Variante zur Basisversion "1 Windpark mit 80 Tripods"

Jahr		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Erträge:	Verkaufserlöse	110.000	110.000	110.000	110.000	110.000	110.000	110.000	110.000	110.000	110.000
	Restwert Investitionen										81.000
Investitionen	Investitionen	270.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Zuschüsse	0									
Kosten	Kosten	67.000	67.000	67.000	67.000	67.000	67.000	67.000	67.000	67.000	67.000
	Afa	18.900	18.900	18.900	18.900	18.900	18.900	18.900	18.900	18.900	18.900
cash flow (vor Steuern)		(227.000)	43.000	43.000	43.000	43.000	43.000	43.000	43.000	43.000	124.000
Rendite		15,1% vor Steuern									
Cash flow in 10 Jahren:		241.000,00 €									
Pay back:		rund 6,5 Jahre									

Variante „Futtermittel“ zu Basisvariante „1 Windpark“

Annahmen	
Erntemenge	120 t (wie 8.1.)
Erntetage	20 Tage (wie 8.1.)
Vermarktung	100% für Futtermehl aus ganzen Muscheln
Verkaufserlös Futtermehlware	0,08 €/kg

	`000 €
Verkaufserlöse	10
Zus. Betriebskosten Parkbetreiber	-46
Betriebskosten Fischereibetrieb	-24
Betriebsergebnis	-60

Variante „Hochpreisiges Futtermehl“ zu Basisvariante „1 Windpark“

- Verkaufserlös auf Basis VP Futtermehl € 1.450/t
- Verkaufserlös € 0,20/kg

	`000 €
Verkaufserlös	24
Zus. Betriebskosten Parkbetreiber	-46
Betriebskosten Fischereibetrieb	-24
Betriebsergebnis	-46

„Ausbau Tennet 2014 mit 223 Anlagen“, ± 3 Windparks

Annahmen	
Erntemenge	335 t
Erntetage	56 Tage mit 1 Erntemaschine
Vermarktung	53% Konsumware (wie 8.1.)
Verkaufserlös Konsumware	€ 1,65 /kg (wie 8.1.)
Verkaufserlös Futterware	€ 0,08 /kg (wie 8.1.)
∅ Verkaufserlös	€ 0,91 /kg (wie 8.1.)

	000 €
Verkaufserlös	308
Zus. Betriebskosten Parkbetreiber	-68
Betriebskosten Fischereibetrieb	-67
Betriebsergebnis	173

Die DCF Rendite für die Investition von € 270.000 beträgt 250,0 % (vor Steuern), die Pay back Periode liegt bei rund 1,5 Jahren.

Der Grund für die wesentlich besseren Wirtschaftlichkeitskennzahlen gegenüber der Basisvariante mit 1 Windpark liegt in der höheren Kapazitätsauslastung.

8.6. Ausbaustufe "Tennet 2014 mit 223 Anlagen, ± 3 Windparks"

Jahr		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Erträge:	Verkaufserlöse	308.000	308.000	308.000	308.000	308.000	308.000	308.000	308.000	308.000	308.000
	Restwert Investitionen										81.000
Investitionen	Investitionen	270.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Zuschüsse	0									
Kosten	Kosten	115.000	115.000	115.000	115.000	115.000	115.000	115.000	115.000	115.000	115.000
	Afa	18.900	18.900	18.900	18.900	18.900	18.900	18.900	18.900	18.900	18.900
cash flow (vor Steuern)		(77.000)	193.000	193.000	193.000	193.000	193.000	193.000	193.000	193.000	274.000
Rendite		250,6% vor Steuern									
Cash flow in 10 Jahren:		#####									
Pay back:		rund 1,5 Jahre									

„Ausbau Tannet 2017-2020 mit 673 Anlagen“, ± 8 Windparks

Annahmen	
Erntemenge	1010 t
Erntetage mit 3 Erntemaschinen	56 Tage mit 3 Erntemaschinen
Vermarktung	53% Konsumware (wie 8.1.)
Verkaufserlös Konsumware	€ 1,65 /kg (wie 8.1.)
Verkaufserlös Futtermehlware	€ 0,08 /kg (wie 8.1.)
∅ Verkaufserlös	€ 0,91 /kg (wie 8.1.)

	`000 €
Verkaufserlös	929
Zus. Betriebskosten Parkbetreiber	-176
Betriebskosten Fischereibetrieb	-151
Betriebsergebnis	602

Variante „Hochpreisiges Futtermittel“ zu 8.7. „Ausbaustufe Tannet 2017-2020“

Annahmen	
Erntemenge	1010 t (wie 8.7.)
Erntetage mit 3 Erntemaschinen	56 Tage (wie 8.7.)
Vermarktung	100% für höherwertiges Futter
Verkaufserlös	€ 0,20 /kg

	`000 €
Verkaufserlös	202
Zus. Betriebskosten Parkbetreiber	-176
Betriebskosten Fischereibetrieb	-151
Betriebsergebnis	-125

3. Wirtschaftliches Ergebnis des Vorhabens

Beurteilung der Wirtschaftlichkeit

Aus kommerzieller Sicht ergibt sich aus der Machbarkeitsstudie folgende zusammenfassende Beurteilung:

Vermarktung der Muschelernte

Die überwiegende Vermarktung der Ernte aus der ersten Ausbaustufe (Tannet 2014 mit 220 Tripods) als **Konsumware** ist aus Marktsicht gesichert. Auch bis zum Ende der nächsten Ausbaustufe (Tannet 2017-2020 mit 8 Windparks/ 670 Tripods) sind durch die Mehrmengen keine oder nur geringe Auswirkungen auf die deutschen Erzeugerpreise zu erwarten.

Im **Futterbereich** sind die Absatzchancen wegen des weiter rasant steigenden Bedarfs der Aquakultur sehr gut bei kontinuierlich steigenden Preisen, allerdings bei noch signifikant niedrigeren Erlösen als bei

Konsumware. Für Spezialfutter wie z.B. Futter mit hohem Kalziumgehalt können derzeit nur leicht erhöhte Erlöse erwartet werden. Mit einer ausschließlichen Vermarktung im Futterbereich lässt sich z.Z. kein positives Betriebsergebnis erzielen.

In der Wissenschaft wird an der Herstellung von **hochwertigen Produkten aus Muschelfleisch** gearbeitet. Es liegen jedoch noch keine für diese Machbarkeitsstudie verwendbare Ergebnisse vor.

Ein tragfähiges Ergebnis kann aus heutiger Sicht nur mit einem möglichst hohen Anteil von Konsumware Frische Muschel erzielt werden.

Geschäftsmodell

Die kommerzielle Bewertung erfolgt auf der Basis eines angenommenen Kooperationsmodells zwischen Windparkbetreiber und Fischereiunternehmen. Dafür gibt es zwei Hauptgründe:

Wegen der sonst anfallenden hohen Investitionskosten und hohen Betriebskosten kann die Ernte nur im Rahmen von planmäßig anfallenden Wartungs- und Kontrollarbeiten durchgeführt werden. Zusätzliche Investitionen fallen für die Ernteanlage und Zwischenlagerung auf einem vorhandenen Wartungsschiff an. Zusätzliche Betriebskosten für den Windparkbetreiber fallen für den Betrieb dieser Anlagen an.

Das Fischereiunternehmen stellt die erforderliche fischereiliche Fachkompetenz und übernimmt an den Erntetagen neben der Mithilfe bei der Ernte verantwortlich Qualitätssicherung, Transport, Lagerung, Bearbeitung mit vorhandenem Gerät sowie die Vermarktung.

Zusammenfassung

Aus den dargestellten Annahmen, Betriebsergebnissen und Investitionsrenditen für die verschiedenen untersuchten Ausbauprodukten lassen sich zusammengefasst folgende Aussagen ableiten:

- Der natürliche Muschelbewuchs am Mittelrohr der Tripods kann grundsätzlich in Verbindung mit regelmäßigen Wartungs- und Kontrollarbeiten rentabel geerntet und vermarktet werden
- Eine rentable Vermarktung ist derzeit nur mit einem hohen Anteil von Konsumware erreichbar
- Ein Kooperationsmodell Windparkbetreiber-Fischereibetrieb bietet eine geeignete Kostenstruktur
- Ab einer Ausbaustufe von 1 Windpark mit 80 Tripods ist, trotz geringer Auslastung der Erntemaschine, ein robustes Betriebsergebnis darstellbar

Empfehlung

Auf Basis der grundsätzlich positiven Ergebnisse der Machbarkeitsstudie kann eine anschließende Entwicklung einer Erntemaschine bis zum Level einer Pilotanlage und die Ausarbeitung eines detaillierten Operationskonzepts für das Geschäftsmodell empfohlen werden.

Teilvorhaben Schoppenhauer

1. Darstellung der Durchführung des Vorhabens

Vorplanung

Machbarkeit der Be- und Weiterverarbeitung der ganzen Miesmuschel bzw. einzelner Bestandteile zu ermitteln.

Im ersten Schritt wird die Muschel zerkleinert und über einen Trikanter gefahren. Dabei wird die Muschel von dem Fleisch getrennt. Je nach Ölvorkommen im Fleisch könnte ebenfalls ein Abtrennen des Öles erfolgen. Für die ersten Probeläufe wird die Menge von 1.000 kg pro Versuch benötigt. Das gewonnene Mus von der Muschel kann dann, wenn es die Analytik zulässt, als Produkt für die Lebensmittelindustrie eingesetzt werden. Auch eine Vermarktung in der Tiernahrungsindustrie wäre vorstellbar.

Zurzeit ist noch unbekannt, inwieweit je nach Verweildauer im Trikanter ein Temperaturverlauf die biochemische Zusammensetzung des Muschelmuses negativ beeinflusst. Je nach Analyseergebnis sind dann weitere Versuche mit Zuführung von Kälte und verschiedenen Zerkleinerungsstufen der Muschel vorzunehmen. Technische Lösungen sind dann sicherlich noch herbeizuführen.

Nach Gewinnung der einzelnen Fragmente sollte eine entsprechende Produktweiterentwicklung nachgeschaltet werden.

Durchführung

Gegenstand: Aufbereitung angelieferter Miesmuscheln

In den erfolgten Anlieferungen erhielten wir aus diversen Tauchgängen ganze Miesmuscheln, frisch, die in Polybeutel und Aufstellkarton umgefüllt und dann bei Minus 45° tiefgefroren wurden. Die angelieferten Mengen waren nicht ausreichend, um eine Trennung zwischen Muschel und Fleisch über den Trikanter im Testlauf durchzuführen. Daher wurde eine Bevorratung im tiefgefrorenen Zustand durchgeführt, um die benötigte Versuchsmenge von mindestens 500 kg zu erreichen. Dieses Ziel konnte bis zum 13.02.2013 nicht erreicht werden.

Das Aussehen der angelieferten Muscheln war arttypisch. Der Geruch frisch. Die Schale wiederum wies zum Teil Pockenartigen Bewuchs auf.

Am 12.02.2013 wurden 20 kg gefrorene Muscheln bei 4° C aufgetaut. Durch den Frostungsprozeß haben sich keine äußeren Veränderungen an den Muscheln ergeben.



Aufgetaute Muscheln vor der
Reinigung, Temperatur: 0,4° C



Nachdem die Ware nun aufgetaut war, wurde diese mit einem 120 Bar Kaltwasserstrahl liegend in einer Kunststoffkiste mit seitlichen und untenliegenden Schlitzen für den Wasserablauf gereinigt. Der Bewuchs an der Muschelschale ließ sich dadurch nicht entfernen.



Reinigung
mit Hochdruck





Ansicht Muscheln nach der Reinigung mit dem Wasser - Hochdruckstrahl

Im nächsten Schritt wurden die Muscheln über einen Fleischwolf B400 mit Schneidsätzen und Lochscheibe auf 19 mm vorzerkleinert. Der Zerkleinerungsprozess lief problemlos ab.



Fleischwolf
 ←Seitenansicht
 Messergehäuse →



Das Produkt wies keine nennenswerte Erwärmung durch den Verarbeitungsschritt auf. Eingangstemperatur: 0,4 ° C, Ausgangstemperatur: 0,5° C.

Nach der groben Zerkleinerung konnten keine festen Muschelfleischbestandteile festgestellt werden. Das Gewebefleisch hatte eine sehr flüssige Konsistenz.



Zur Nachverfolgung wurden aus dem Bestand an gefrorenen Muscheln einige geöffnet, um festzustellen, wie hoch der Fleischanteil in der Muschel ist.



Einige Muscheln waren leer, andere wiederum hatte eingeschrumpeltes Muschelfleisch enthalten. Fazit: ein sehr geringer Anteil an Muschelfleisch vorhanden.

Als mögliche Ursache könnte sein, das die Muscheln in der Wachstumsphase noch keinen hohen festen Fleischanteil gebildet haben.

Als Ergebnis des Versuches können wir feststellen, dass die mechanische Bearbeitung in der Vorstufe machbar ist und ein Material gewonnen wird, dass weiteren Separierungsschritten zugeführt werden kann.

Inwieweit aber ein nutzbringendes Fleisch gewonnen werden kann, lässt sich zum jetzigen Zeitpunkt nicht ermitteln.

In einem weiteren Zerkleinerungsversuch sollte die Machbarkeit einer Muschelpulpe mit einem bestmöglichen Feinheitsgrad ermittelt werden. Dazu wurde der FZK-PPC-S3 mit entsprechenden Werkzeugen ausgestattet.



Sortiment
Schneid-
sätze für
den FZK-
HPC-S3





Aufgetaute Muschelrohware.
Aussehen arttypisch. Geruch frisch.
Schalen mit Pockenartigen Bewuchs.
Verunreinigungen:
Bewuchsrückstände, Kunststoff-
fäden, sonstige Plastikteile
aufgetaute Muschelrohware



Bewuchs

Kunststofffäden, Plastikteile



Handverlesene Muschel

Für den Zerkleinerungsversuch wurden die Muscheln Handverlesen.

Auf eine maschinelle Vorzerkleinerung, wie in den vorangegangenen Versuchen wurde aufgrund des Volumens der zur Verfügung stehenden Rohware verzichtet. Die Zuführung der ganzen Muschel zur FZK-HPC-S3 erfolgte manuell über einen Trichter. Der Rohstoff wurde über eine Lochscheibe 3 mm und Schneidsätzen 1,9 mm Spalt gefahren. In diesem getesteten Verfahren konnte eine Verarbeitungskapazität von ca. 10 t pro Stunde ermittelt werden.

Als Zerkleinerungsergebnis erhielten wir eine Muschelpulpe. Die Ausgangstemperatur der Rohware betrug $-2,0^{\circ}\text{C}$ und die Endtemperatur im Endprodukt konnte mit $+1^{\circ}\text{C}$ ermittelt werden. Der Temperaturanstieg in dem Zerkleinerungsvorgang betrug somit 3°C . Das Ziel einer produktschonenden Zerkleinerung wurde erreicht.



Technisch ist es durchaus machbar, die Muscheln mit einem noch größeren Feinheitsgrad herstellen. Die Laufzeiten und der Verschleiß für die entsprechenden Werkzeuge sind dann mit einer größeren Rohproduktmenge zu gegebener Zeit zu ermitteln.

Eine Weiterverarbeitung der Muschelpulpe könnte je nach Volumina als Nass- oder Trockenprodukt erfolgen.

Eine entsprechende nachgeschaltete Produktweiterentwicklung ist zu überprüfen.

2. Zusammenfassung des Ergebnis

Das Ziel, separates Muschelfleisch über den Trikanter zu gewinnen wurde aufgrund der geringen Verfügbarkeit der Rohware nicht erreicht. Alternativ konnte die technische Verarbeitung der ganzen Muschel zu einer Pulpe durchgeführt werden. Hierbei handelt es sich aber noch um kein vermarktungsfähiges Produkt. Weiter Entwicklungsschritten wären notwendig.

3. Wirtschaftliches Ergebnis des Vorhabens

Dieses Projekt lässt durchaus eine Wirtschaftlichkeit erkennen. Es sind allerdings weitere Entwicklungsschritte erforderlich um eine Marktreife zu erzielen.

Teilvorhaben WeserWind GmbH Offshore Construction Georgsmarienhütte

In dem Projekt *NutriMat* wird der Einfluss von marinem Bewuchs auf Offshore-Gründungsstrukturen untersucht, desweiteren wird ein Grobkonzept einer Reinigungs-/Erntemaschine entwickelt, welche den marinen Bewuchs an künstlich eingebrachten Hartsubstraten entfernen soll. Diese großen Mengen an biologischem Material sollen durch weitere Verfahren aufbereitet und für die Nahrungsmittelindustrie lukrativ zugänglich gemacht werden. Aufgrund der vorgeschriebenen Sicherheitsinspektionen an Offshore-Windenergieanlagen könnte diese Erntemaschine zum Entfernen des biologischen Materials und damit einhergehend die Freilegung der Schweißnähte von großem Vorteil sein.

1. Darstellung der Durchführung des Vorhabens

Im Rahmen des Forschungsprojektes *NutriMat* ist der biologische Bewuchs an Offshore-Gründungsstrukturen untersucht und analysiert, sowie ein Grobkonzeptes zur Entwicklung einer Reinigungs-/Erntemaschine für Miesmuscheln entwickelt worden. Die Bewuchsdicke, sowie Bewuchseigenschaften der sessilen Gesellschaft sind durch ein Tauchteam ermittelt worden.

Die Aufgabe des Industriepartners WeserWind GmbH Offshore Construction Georgsmarienhütte lag darin die Offshore-Einsätze zu koordinieren und einen Sicherheits- und Ablaufplan für eine reibungslose Durchführung von (Tauch-) Einsätzen in Offshore Windparks zu erstellen. Desweiteren wurden zum einen Versuche durchgeführt und anschließend bewertet, um eine gewisse Klarheit zu erhalten, in wie weit und ob Biobewuchs auf Gründungsstrukturen schädlich wirkt. Zum anderen wurde ein Konzeptdesign zur konstruktiven Gestaltung eines Erntegerätes entwickelt.

Entwicklung eines Sicherheits- und Ablaufplans (AP1)

In diesem Arbeitspaket wurde zunächst ein Ablaufschema zur erfolgreichen Koordination der Offshore-Einsätze zur Ernte der Biomasse an Gründungsstrukturen und der Kontrolle der Oberflächen und des Aufwuchses an den Strukturen erstellt. Hierbei werden Punkte wie Planung und Organisation der Offshore-Einsätze, sowie die Gewährleistung der Sicherheit berücksichtigt.

Planung der Offshore-Einsätze

Das Einsatzgebiet eines Offshore-Windparks in der Deutschen Nord- oder Ostsee liegt in der „Ausschließlichen Wirtschaftszone“(AWZ). Dennoch ist dies der Zuständigkeitsbereich der deutschen Unfallversicherung. Alle Personen, die im Offshore Windpark arbeiten oder sich dort aufhalten, müssen sich einer arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchung unterziehen (Offshore-Tauglichkeit). Diese Bestimmung entfällt jedoch für seediensttaugliche Inhaber eines Seefahrtsbuches und für Besucher. Der Inhalt von arbeitsmedizinischen Untersuchungen wird zurzeit mit Arbeitsmedizinern und der See-Berufsgenossenschaft (SeeBG) gemeinsam ausgearbeitet.

Arbeitszeiten

Die Arbeitszeiten im Offshore Windpark müssen den allgemeinen Unfallverhütungsvorschriften(UVV) See und dem Seemannsgesetz(SeemG) entsprechen.

Darüber hinaus gelten für den Offshore-Windpark Alpha-Ventus folgende Regelungen:

- Max. Arbeitszeit 12 Stunden
- Unter besonderen Umständen sind 16 Stunden möglich, darf jedoch nicht zur Regel werden.

Verantwortlichkeiten

Unternehmer und Subunternehmer haben Sorge zu tragen, dass die während des Betriebs eingesetzten Mitarbeiter im Windpark gemäß §12 Arbeitsschutzgesetz, eingewiesen sind. Außerdem ist von ihnen schriftlich eine Person als Beauftragter für Arbeitssicherheit zu ernennen. Der Windpark / Arbeitsschutz - Koordinator (Sicherheitsingenieur) wird direkt von der Geschäftsführung benannt. Dieser hat die volle Entscheidungsgewalt und Weisungsbefugnis für Arbeitsschutz und sicherheitstechnische Belange. Außerdem ist er für die Prüfung von Risikoanalysen, Gefährdungsbeurteilungen, Arbeitsmethoden und Arbeitsanweisungen verantwortlich.

Melde- und Berichtssystem

Personalmeldesystem

Um sicherzustellen, dass die Aufenthaltsorte aller im Windpark befindlichen Personen, zu jedem Zeitpunkt bekannt sind, ist ein schriftliches und telefonisches Meldesystem erforderlich. Die schriftlich benannte verantwortliche Person (z.B. Kapitän, Pilot oder Einsatzleiter) hat die Standorte aller Personen die im Windpark unter ihrer Verantwortung arbeiten, schriftlich zu dokumentieren.

Während des Betriebs

Das Personal (Vorarbeiter/Einsatzleiter) hat sich vor Aufnahme- und nach Beendigung der Arbeiten, von der WEA, bei der Windparkleitstelle an- und abzumelden.

Meldepflicht der Auftragnehmer

Der Auftragnehmer und ggf. der Subunternehmer haben jeweils zum 30sten des laufenden Kalendermonats folgende Angaben zu dokumentieren und sind der Windparkleitstelle spätestens 3 Tage später zu übergeben:

- Anzahl der Mitarbeiter
- Geleistete Arbeitsstunden
- Anzahl der Unfälle
- Anzahl der Zwischenfälle
- Anzahl der durchgeführten Arbeitssicherheits- und Einsatzbesprechungen
- Durchgeführte Sicherheitsübungen
- Angaben darüber, wie oft der Windpark per Schiff befahren wurde
- Anzahl der Personentransporte zu den Gründungskörpern bzw. WEA
- Anzahl der Tauchereinsätze und Tauchminuten

Arbeitserlaubnis-System

Ein Arbeitserlaubnis-System informiert über eventuell auftretende Schnittstellen von zeitgleich stattfindenden Bauvorhaben oder Instandhaltungsmaßnahmen an einer Anlage oder innerhalb eines bestimmten Gebietes.

Alle Arbeiten sind dem Windparkkoordinator (WPK) vor Beginn anzumelden und können erst aufgenommen werden, wenn dieser eine Arbeitserlaubnis erteilt hat. Es muss eine schriftliche Arbeitserlaubnis vorliegen. Eine Arbeitserlaubnis beinhaltet:

- Datum und Uhrzeit, wann die Arbeiten stattfinden
- Voraussichtliche Dauer der Arbeiten
- Standort der Arbeiten, Einnehmender Bereich
- Was für Arbeiten werden durchgeführt
- Anzahl der tätigen Personen
- Besondere Maßnahmen

Personalsicherheitstraining für Arbeiten im Offshore-Windpark

Je nach Zuordnung der Tätigkeiten der jeweiligen Arbeiten im Windpark, müssen verschiedene Sicherheitstrainingsmaßnahmen oder arbeitsmedizinische Untersuchungen durchgeführt werden. Die folgende Abbildung zeigt, für welche Tätigkeiten des Personals welche Voraussetzungen erfüllt sein müssen. Ebenfalls ist die Dauer der Gültigkeit in der Tabelle aufgeführt. Im Falle von Taucharbeiten an der Struktur selber, würde zum Beispiel die Tätigkeit bzw. Zeile „Servicepersonal Fundament“ greifen[8].

Zuordnung der Tätigkeiten des Personals für notwendige Trainingmaßnahmen	Arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung	Windpark Einweisung	Erste-Hilfe-Lehrgang	(Offshore) Betriebs-Sanitäter	Überlebens-Training See und Hubschrauber Ausstieg	Einweisung Verbindung Teilstück	Sicherheitseinweisung WEA gemäß BGI 657 und AkSiWe	Hubschrauber Zugangs-plattform WEA Training	Elektrische Unterweisung
Erstellung Gründungskörper	X	X	X	*	X	X			
Errichtung der WEA	X	X	X	*	X	X	X		
Ausbau der WEA	X	X	X	*	X	X	X	X	X
Personal Zutritt WEA Turm	X	X	X	*	X		X	X	X
Personal Zutritt WEA Maschinenhaus	X	X	X	*	X		X	X	X
Servicepersonal Fundament	X	X	X	*	X				
Errichtung Umspannwerk	X	X	X	*	X				
Ausbau Umspannwerk	X	X	X	*	X		X		X
Personal Umspannwerk	X	X	X	*	X		X		X
Kabelverlegung Offshore	X	X	X	*	X				
Personal Shuttle Boot	X	X	X	X	X	X	X		X
Besucher / VIP Personen		X							
Kurs Wiederholung / Auffrischung	2 Jahre*	ca. 45 min*	2 Jahre	3 Jahre	4 Jahre	1 x Projekt	jährlich	4 Jahre	jährlich

Bemerkung: Überlebens Training See Kurse, die in der Nordsee für Oil und Gas anerkannt sind, werden von der DOTI akzeptiert
 * Betriebsanitäter (Offshore) diesen Status müssen min. zwei Personen haben die in einem Bereich arbeiten
 * Eine arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung ist alle zwei Jahre, ab dem 40igsten Lebensjahr jährlich zu erbringen
 * Dauer Windparkeinweisung für Besucher ca. 15min

Abb. 1: Personalsicherheitstraining

Wartung und Reparatur von Offshore-Windenergieanlagen

Grundlagen der Inspektion und Wartung

Der rechtliche Rahmen für Überwachungsleistungen für Inspektionen und Wartungen an OWEA vom Bundesamt für Schifffahrt und Hydrographie(BSH) vorgegeben Für die Betriebsphase einer OWEA schreibt das BSH die Standards für eine Wiederkehrende Prüfung (WKP) vor. Dort heißt es im Zitat:

„Die Tragstruktur (Turm, Unterwasserstruktur, Gründung) soll auf Korrosion, Vorspannung, Risse, der Schraubenverbindungen, unzulässige Kolke, sowie seine Lage Geprüft werden.“

Nach der Inbetriebnahme gehen i.d.R. das Eigentum und die Verantwortung vom Hersteller auf den Betreiber/Eigentümer über.

Wiederkehrende Prüfung

Die Bewertungskriterien der Wiederkehrenden Prüfungen(WKP) sind objekt- und standortbezogen festzulegen. Diese sind jährlich an 25% der Offshore-WEA eines Windparks durchzuführen. Zentrale Bauwerke (Umspannstation) sind jährlich zu inspizieren.

Möglichkeit der Prüfung:

- Sind vom Schiff 20% aller Tage im Jahr möglich - ca. 73 Tage[1]
- Sind vom Helikopter 60% aller Tage im Jahr möglich - ca. 220 Tage[1]

Rund 100 Stunden jährlich dauert die Wartung und Instandhaltung einer Anlage. Die Prüfung erfolgt durch geeignete Sachverständige. Diese müssen vom Germanischen Lloyd(GL) anerkannt sein. Die Akkreditierung nach DIN EN ISO/IEC 17020 oder DIN EN 45011 oder gleichwertig sind dabei erforderlich.

Umfang der WKP

In Abb. 2 ist der vom BSH geforderte Mindestumfang der Überwachungsleistungen an OWEA aus geotechnischer Sicht aufgeführt[3].

Phase	Maßnahme	Zweck und Ziel der Erkundung	Art der Erkundung	Arbeitsschritte/Unterlagen
Betrieb	Betrieb, Unterhaltung und Überwachung	<ul style="list-style-type: none">• Kontrolle des Bauwerksverhaltens unter Gebrauchslasten• Es soll die Möglichkeit geschaffen werden, bei vom Entwurf abweichendem Verhalten rechtzeitig Gegenmaßnahmen treffen zu können• Überwachung der Sedimentdynamik im Bereich der windparkinternen und externen Kabeltrassen	<ul style="list-style-type: none">• Verformungsmessungen an ausgewählten Anlagen innerhalb des Offshore-Windenergieparks• Überwachung der Kolkbildung in regelmäßigen Zeitabständen an jeder Gründung	<ul style="list-style-type: none">• Betriebsbegleitende Untersuchungen (Geotechnische Überwachung)• Im Zusammenhang mit den Inspektionsberichten einzureichende Unterlagen• Von einem Zertifizierer/Prüfsachverständigen geprüfte Ergebnisberichte und Bewertungen

Abb. 2: Überwachungsleistungen

Zu prüfende Gegenstände der WKP

In Abb. 3 werden die vom BSH geforderten Baugruppen aufgezählt und die dazugehörigen Prüfgegenstände die es innerhalb einer WKP zu kontrollieren gilt.

Baugruppe	Prüfgegenstand
Rotorblatt	auf Beschädigung der Oberfläche, Risse, Strukturunstetigkeiten des Blattkörpers. (Inspektion von einer Hub- oder Steigleinrichtung aus: visuelle Begutachtung und Untersuchung der Struktur mit geeigneten Verfahren (z. B. Klopfen, Ultraschall)). Vorspannung der Schraubenverbindungen. Beschädigung der Blitzschutzeinrichtungen
Triebstrang	Dichtigkeit, ungewöhnliche Geräusche, Zustand des Korrosionsschutzes, Schmierzustand, Vorspannung der Schraubenverbindungen. Zustand des Getriebes (ggf. Ölprobe).
Maschinenhaus und kraft- und momentübertragende Komponenten	auf Korrosion, Risse, ungewöhnliche Geräusche, Schmierzustand, Vorspannung der Schraubenverbindungen.
Hydrauliksystem, Pneumatiksystem	auf Beschädigung, Dichtigkeit, Korrosion, Funktion.
Tragstruktur (Turm, Unterwasserstruktur, Gründung)	auf Korrosion, Risse, Vorspannung der Schraubenverbindungen, unzulässige Kolke, Lage.
Sicherheitseinrichtungen, Messaufnehmer und Bremssysteme	Funktionskontrollen, Einhalten der Grenzwerte, Beschädigung, Verschleiß.
Anlagensteuerung und E-Technik inkl. Transformatorstation und Schaltanlage	Anschlüsse, Befestigung, Funktion, Korrosion, Verschmutzung
Unterlagen	Vollständigkeit, Einhaltung der Auflagen, Ausführung, Prüfungsunterlagen, regelmäßige Durchführung der Wartung, ggf. Ausführung von Änderungen/Reparaturen gemäß Genehmigung.

Abb. 3: Baugruppen und Prüfgegenstände

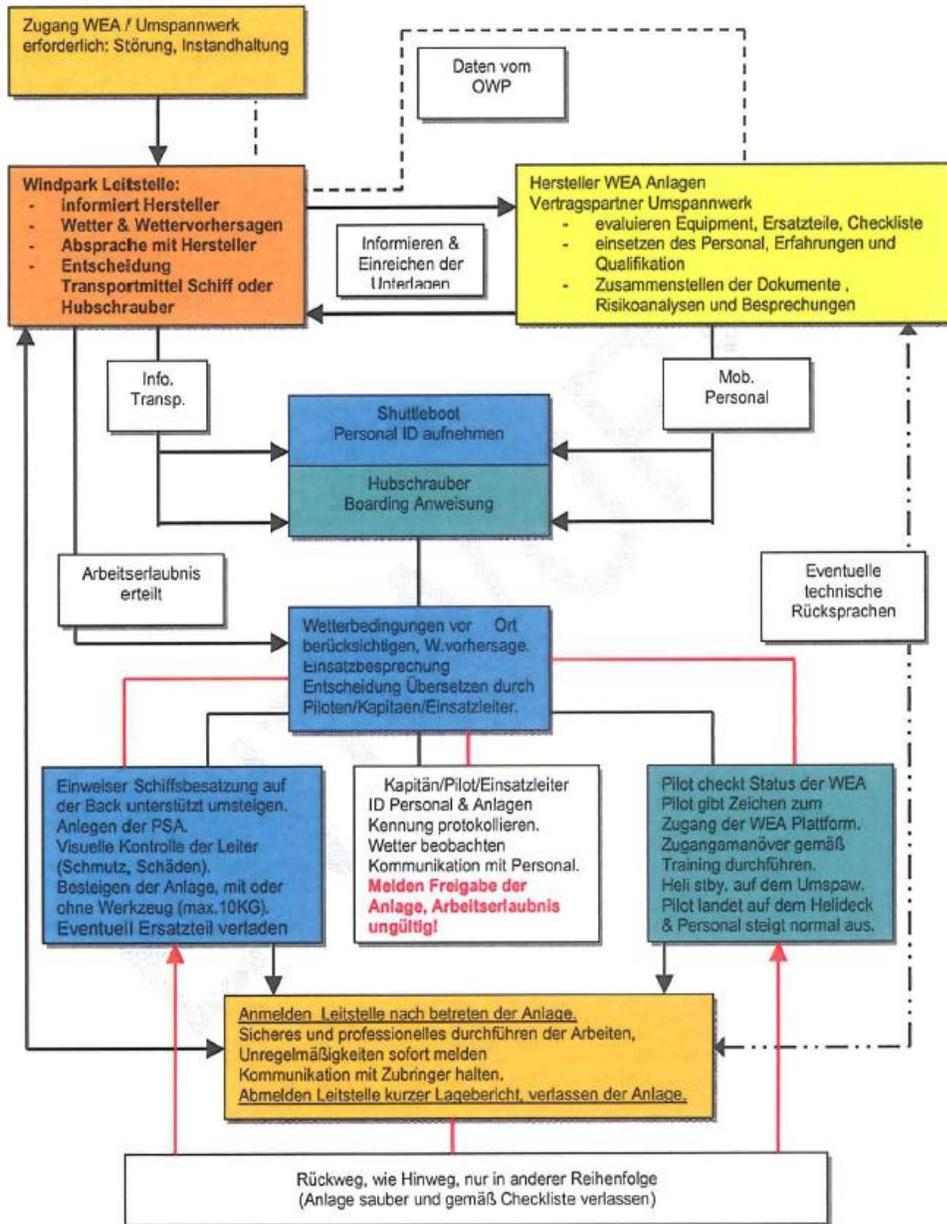


Abb. 4: Beispielhafter Ablaufplan

Organisation der Fahrten zur Probenahme

Forschungstaucherarbeiten im OWP alpha ventus

Da in Deutschland keine separaten Verordnungen bezüglich Taucherarbeiten Offshore existieren, sind die offshore üblichen Regularien für die Nordsee und die BG existierenden Tauchvorschriften im OWP alpha ventus zu berücksichtigen.

Die Qualifikation der Taucher und Einsatzleiter richtet sich nach der BGV - C23 und deren Erfahrungen, die nachzuweisen sind.

Die Anforderungen an die Tauchausrüstungen und der Einrichtung der Tauchbaustelle richtet sich nach der BGV C23. Bergverordnung für den Festlandsockel (FlsBergV §18) und dem britischen Offshore Industriestandard IMCA D014, IMCA D018 IMCA D023.

Alle Taucherarbeiten müssen bei den zuständigen Behörden und der Windparkleitstelle angemeldet und abgemeldet werden. Die zu erwartenden Taucherarbeiten im OWP alpha ventus beziehen sich auf folgende Tätigkeiten:

- Arbeiten an Schiffen
- Bergen von verlorenen Gegenständen und Identifikation von Gegenständen
- Arbeiten am Gründungskörper (Installation, Forschung)
- Arbeiten für die Kabelverlegung (Gründungskörper J-tubes, Kabelleger)

Anforderungen an Taucherarbeiten außerhalb der 12 sm Zone im OWP alpha ventus:

1. Grundsätzlich ist ein autonomes Tauchen nicht ertaubt. Nur von der Oberfläche schlauchversorgte Tauchsysteme sind zugelassen.
2. Alle Taucherarbeiten müssen mit einer Helmkamera durchgeführt werden. Die Unterwasserbilddaufzeichnungen inklusive Audio müssen dem Auftraggeber auf Anfrage zur Verfügung gestellt werden.
3. Alle Taucherarbeiten müssen bei den zuständigen Behörden und der Windparkleitstelle an- und abgemeldet werden.
4. Neben der Arbeitsmethode und Risikoanalyse muss eine detaillierte Arbeitsanweisung für die bevorstehenden Taucherarbeiten ausgearbeitet werden.
5. Eine Rettungskette mit Kontaktdaten muss dem Auftraggeber vorgelegt werden und auf der Tauchstelle aushängen. Eine Risikoanalyse und Arbeitsanweisung muss, für das Rettungs- und Bergekonzept eines verunfallten Tauchers angefertigt und wie in Pos. 10.3 eingereicht werden.
6. Ein Rettungssystem zum Bergen eines verletzten Tauchers an Deck muss vorgehalten werden.
7. Sind Anlagen auf einem Schiff montiert, die dazu dienen Taucher einen sicheren Ein- und Ausstieg aus dem Wasser zu ermöglichen, ist die Standsicherheit dieser Anlage nachzuweisen. Dieser Nachweis darf nicht älter als 12 Monate sein.
8. Ein komplett (bis auf den Taucherhelm) angezogener Reservetaucher, hat während der Taucherarbeiten an Oberdeck zu sein, unabhängig davon, ob mit einem oder zwei Arbeitstauchern gearbeitet wird.
9. Der eingesetzte Tauchereinsatzleiter muss mindestens 3 Jahre Nordseeerfahrung oder 150 Tauchgänge in der Nordsee nachweisen.
10. Es müssen zwei unabhängige Taucher-Einstiegs- und Ausstiegsmöglichkeiten vorhanden sein bzw. geschaffen werden.

11. Bei allen stattfindenden Taucherarbeiten hat eine Druckkammer mit allen notwendigen gültigen Zertifikaten vor Ort zu sein, inklusive Dokumentation der Dekompressionstabellen und Notdekompressionstabellen.
12. Ein Tauchteam besteht aus min. 5 Personen (4 Taucher, 1 Tauchereinsatzleiter)
13. Vor Beginn der Taucherarbeiten muss eine schriftliche Taucherarbeitserlaubnis vom Barge-Master / Kapitän vorliegen. Eine Pre- Tauchcheck ist vor dem Tauchgang schriftlich durchzuführen. Nach dem Tauchgang ist ein Tauchgangsprotokoll anzufertigen.
14. Taucherarbeiten während der Rammarbeiten sind nur in einer min. Entfernung von 1500m zulässig.
- 15 Die installierte Tauchausrüstung wird von einem Tauchexperten der DOTI vor Beginn der Taucharbeiten an Bord geprüft.
16. Vor dem ersten Tauchgang und danach min. alle vier Wochen muss eine Rettungs- und Bergeübung eines verunfallten Tauchers durchgeführt werden.

Gewährleistung der Sicherheit

Personal-Sicherheitstraining im OWP alpha ventus

Gemäß § 12 ArbSchG ist der eingesetzte Mitarbeiter regelmäßig und projektbezogen vom Arbeitgeber zu unterweisen.

Um einen höchstmöglichen Sicherheitsstandard für die Errichtung und den Betrieb von Offshore WEA zu erreichen ist es notwendig, dass das eingesetzte Personal der Aufgabe angemessen geschult, eingewiesen und unterwiesen ist.

Besucher und das seefahrene Personal sind von der Teilnahme der Kurse, die unter Pos. 14.3 bis Pos. 14.9 aufgeführt sind befreit, sofern sie nicht zusätzlich aufgeführt werden.

OWP-Sicherheitseinweisung

Während der Bau- und Betriebsphase werden sich unterschiedliche Personengruppen mit den verschiedensten Aufgabenbereichen im OWP alpha ventus aufhalten.

Alle Personen der Auftraggeber, Auftragnehmer und Subunternehmer sowie Forschergruppen müssen sich entsprechenden Schulungen sowie Sicherheitsein- und Unterweisungen unterziehen.

Personengruppen wie z.B. Besucher im Windpark werden mit der nötigen Schutzsicherheitsausrüstung ausgestattet und bekommen eine professionelle Begleitung.

OWP-Sicherheitseinweisung beinhaltet:

Die Sicherheitseinweisung gilt für alle Personen die im Offshore Windpark alpha ventus Arbeiten (z.B. Kabelverlegung, Fundamente, Umspannwerk, WEA, Forschungsarbeiten)

- Allgemeine Sicherheitsregeln im Windpark
- Anforderungen an die persönlichen Schutzausrüstungen
- Verbote im Windpark
- Hinweise auf Notfallpläne und Nottelefonnummern
- Gefahrenbereiche
- Umwelt

- Arbeitserlaubnissystem
- Arbeitszeiten
- Berücksichtigung der Risiko- und Gefährdungsanalysen
- Verantwortlichkeiten
- Meldepflicht und Dokumentation
- Information über das Umspannwerk

Für Besucher / VIP die sich nur mit dem Schiff im OWPAV bewegen

- Persönliche Sicherheitsschutzbekleidung
- Verbote im Windpark
- Umwelt
- Hinweise auf Notfallpläne

Dauer der Windparkeinweisung für arbeitendes Personal, ca. 45min.

Dauer der Windparkeinweisung für Besucher ca. 15min

Die Sicherheitsunterweisungen sind nach Bedarf und entsprechend den Anforderungen zu überarbeiten.

Nachweis über Schulung und Training

Bevor Unternehmer, Angestellte und Mitarbeiter die Erlaubnis erhalten im OWP AV zu arbeiten oder sich dort aufzuhalten, müssen sie den Nachweis erbringen, dass Sie an den erforderlichen Schulungs- und Trainingsmaßnahmen teilgenommen haben.

In einem Sicherheitspass (Personal Safety Logbook) sind Teilnahmen an Sicherheitslehrgängen und Unterweisungen, sowie arbeitsmedizinische Untersuchungen einzutragen und zu bestätigen. Diesen Sicherheitspass hat jede Person die im OWP AV arbeitet vorzulegen.

Erste-Hilfe-Lehrgang

Grundsätzlich ist dieser Kurs von allen Personen, die im Offshore Windpark arbeiten, zu absolvieren. Dieser Kurs befähigt die Teilnehmer dazu, Verletzungen vor Ort zu behandeln und übt die Handhabung der Standard-Erste-Hilfe-Ausrüstung.

Die Dauer dieses Kurses beträgt 8 Doppelstunden.

Betriebssanitäter-Offshore

Mindestens zwei Personen eines Arbeitsbereiches müssen die Ausbildung zum Betriebssanitäter Kurs absolviert haben.

Dieser Kurs befähigt die Teilnehmer dazu, Schwerverletzte oder Verunfallte so zu versorgen, dass Folgeschäden vermieden werden, die durch die entfernungsbedingte längere Anreisezeit eines Arztes oder die längere Dauer eines Transports an Land in ein Krankenhaus entstehen könnten.

Des Weiteren wird die Handhabung der Erste-Hilfe-Ausrüstung für Offshore geschult, welche wesentlich umfangreicher ist als die normale Erste-Hilfe-Ausrüstung.

Die Dauer dieses Kurses beträgt ca. 70 Stunden theoretischen und praktischen Unterricht in einer anerkannten Ausbildungseinrichtung.

Voraussetzung für die Teilnahme dieser Ausbildung ist die Fortbildung als Ersthelfer (gemäß BGG 948).

Überlebenstraining auf See mit HUET (Hubschrauber unter Wasser Ausstiegstraining)

Grundsätzlich ist dieser Kurs vom gesamten Personal, welches sich im Offshore Windpark aufhält, zu absolvieren.

Kursinhalte sind die Verhaltensweise beim Verlassen eines Schiffes oder als Schiffbrüchiger im Wasser zu erlernen. Des Weiteren wird der Umgang mit Rettungsmitteln und maritimer Schutzausrüstung geübt.

Eine Notlandung und kentern eines Hubschraubers auf See simuliert, das Aussteigen aus einem gesunkenen Hubschrauber und das Aussteigen aus einem gekenterten Hubschrauber. Retten durch einen Hubschrauber und der Umgang mit Brandbekämpfungsmitteln, wie z.B. Feuerlöscher.

Der Kurs dauert 3 Tage und ist in Theorie und Praxis aufgeteilt.

Einweisung für den Aufenthalt bei Arbeiten am Verbindungsstück Gründungskörper I Turm WEA

Dieser Kurs ist von allen Personen zu absolvieren, die während der Bauphase Tätigkeiten am Verbindungsstück Gründungskörper I Turm WEA durchführen.

Kursziel: Verhaltensmaßnahmen auf dem Verbindungsstück und die Durchführung einer Rettung und Bergung eines Verletzten von einem Verbindungsstück zu beherrschen.

Dieser Kurs besteht aus ca. 2 Stunden theoretischem Unterricht und ca. 3 Stunden praktischen Unterricht.

Sicherheitseinweisung WEA (gemäß BGI 657 und AkSiWe)

Diese Schulung ist von den Personen zu absolvieren, die sich auf einer WEA aufhalten.

Kursziel: Verhaltensmaßnahmen innerhalb einer WEA.

Anlegen und Einsetzen der Rettungsmittel wie Abseilhilfen, persönliche Schutzausrüstungen (PSA), persönliche Schutzausrüstung gegen Absturz (PSAgA) und Retten eines Verletzten aus engen Räumen.

Der Kurs dauert 2 Tage.

Hubschrauber Zugangsplattform Training

Dieser Kurs ist von Personen zu absolvieren, die sich in einer WEA aufhalten, bzw. Arbeiten im Maschinenhaus durchführen.

Der Kurs beinhaltet das Ein- und Ausstiegsmanöver und das Verhalten bei Rettungen von der Zugangsplattform der WEA mit einem Hubschrauber. Dieser Kurs dauert 1 Tag. In Abstimmung mit der eingesetzten Hubschrauber Firma.

Elektrotechnische Unterweisung

Die Kurzunterweisung soll dazu dienen, den Personenkreis, der sich innerhalb der WEA aufhält und keine elektrische Ausbildung nachweisen kann, über die elektrischen Risiken zu informieren. Diese Unterweisung dauert ca. 4 Stunden.

Darüber hinaus empfehlen wir, dass alle Personen, die sich in einer WEA aufhalten, mindestens Elektrisch unterwiesene Personen (EuP) bzw. Elektro Fachkräfte für festgelegte Tätigkeiten (EFT) sind.

Besucher und VIP Regelung Im OWP AV

Grundsätzlich sind die aufgeführten Trainings- und Schulungsmaßnahmen, von dem arbeitenden Personal, für die entsprechenden Bereiche im OWP AV durchzuführen.

Besucher / VIP die Keine Anlage betreten

Für Besucher die den OWP nur per Schiff bereisen und keine Anlage betreten, gelten folgende Regelung:

- Besucher / VIP Windpark Einweisung
- Schiffs - Sicherheitseinweisung
- Werden namentlich registriert

Ausnahme Regelung Besucher I VIP die eine Anlage Im OWP AV betreten

- Besucher / VIP dürfen die Anlagen im OWP AV einmalig betreten und keine Arbeiten durchführen
- Das betreten einer WEA über die Zugangsplattform ist nicht gestattet
- Es müssen mindestens zwei Personen anwesend sein, die den Anforderungen im Teil A entsprechen
- Besucher / VIP Windpark Einweisung
- Schiffs- oder Hubschrauber Sicherheitseinweisung
- Werden namentlich registriert
- Schriftliche Bestätigung des Projektleiters und des OWPAASK oder deren Vertreter

Ablaufplanung und Koordination der Offshore-Einsätze

Das Unternehmen datadiving GmbH & Co. KG in Bremerhaven, welches im Bereich meeresbiologische Datenerfassung und Gutachten tätig ist, führte die Forschungstaucharbeiten an den Windanlagen im Windpark alpha ventus durch. Die Planung und Durchführung der submarinen ökologischen Begleituntersuchungen an den Offshore - Windanlagen basiert auf der von der DGUV, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, verfassten Regelung GUV-R2112 „Einsatz von Forschungstauchern“ (Juni 2011, *siehe Anhang*).

Nachdem der Einsatzantrag an die IfAÖ GmbH, Institut für Angewandte Ökosystemforschung, und das Betriebsbüro Alpha Ventus nach GUV-R2112 gestellt wurde, folgten zusätzliche Richtlinien und Regularien, welche vom Taucheinsatzleiter aufgestellt wurden. Hierzu zählen unter anderen folgende:

- Der Taucher wird mit einer Telefonanlage und einer zusätzlichen Vollgesichtsmaske tauchen.
- Die Tauchtätigkeit wird bis zu einer maximalen Wassertiefe von bis zu 10 m durchgeführt.
- Tauchgänge werden so geplant, sodass Strömungen etc. die Tätigkeit möglichst nicht beeinflussen
- Sicherheitsrichtlinien der Forschungstaucher werden vor jedem Tauchgang gemeinsam besprochen

Aufgrund der Tatsache, dass Taucheinsätze stark wetterabhängig sind, ist es erforderlich, dass die Forschungstaucher, nach der Vorbereitung und Vereinbarung zwischen dem Leiter der IfAÖ, IMARE, der Schiffsführung und des Taucheinsatzleiters im sogenannten „Standby Modus“ an Land warten und bei

gutem Wetter sofort einsatzfähig sind. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit die Planung über den Taucheinsatz direkt vor Ort, durch nicht eingehaltene Sicherheitsregularien von einen der genannten Teilhabern kurzfristig zu ändern oder zu verwerfen.

Bei den Forschungsarbeiten besitzt der Betrieb die Aufgabe der Leitung und Aufsicht. Anforderungen an Taucher und Signalmann müssen dabei ebenso verfolgt und eingehalten werden. Folgende Punkte werden berücksichtigt:

Leitung und Aufsicht

- Taucheinsatz muss von einem Aufsichtsführenden (Taucheinsatzleiter) geführt werden
 - Hat mindestens 100 Tauchgänge mit Mindesttauchzeit von 60 Stunden absolviert
- Tauchergruppe
- Taucharbeiten dürfen nur von Tauchergruppen durchgeführt werden
 - Jede Tauchgruppe muss aus zwei *Tauchern*, einem *Signalmann* und einem *Tauchhelfer* bestehen

Anforderung an den *Taucher*

- Der Unternehmer darf nur Personen als Taucher beschäftigen, die
 - Das 21. Lebensjahr vollendet haben
 - Prüfung „Verordnung über die Prüfung zum anerkannten Abschluss geprüfter Taucher“ nachweisen können
 - Nach der Prüfung in jeweils 6 Monaten 6 Tauchstunden nachweisen können

Anforderung an den *Signalmann*

- Unternehmer darf nur körperlich geeignete Personen beschäftigen, von denen zu erwarten ist, dass sie die übertragenden Aufgaben zuverlässig erfüllen können und
 - Das 18. Lebensjahr vollendet haben
 - Von einem Taucherunternehmen in den erforderlichen Kenntnissen und Fähigkeiten ausgebildet wurden
 - Nach abgeschlossener Ausbildung

Anforderung an den *Tauchhelfer*

- Unternehmer darf nur körperlich geeignete Personen beschäftigen, von denen zu erwarten ist, dass sie die übertragenden Aufgaben zuverlässig erfüllen können und
 - Das 18. Lebensjahr vollendet haben
 - Im Bedienen und Warten einer Luftversorgungsanlage unterwiesen sind und ihre Befähigung hierzu dem Unternehmer nachgewiesen haben.

Durchführung der Untersuchung-in wie weit und ob Biobewuchs auf Gründungsstrukturen schädlich wirkt (AP2)

In diesem Abschnitt wird näher auf die Durchführung der Untersuchung des korrosiven Einflusses des Bioaufwuchses an Offshore-Gründungsstrukturen eingegangen.

Gründungsstrukturen für Offshore-Windenergieanlagen

Die Fundamentierung einer Offshore-Windenergieanlage (OWEA) trägt eine besondere Verantwortung. OWEA sind durch Wind, Wellen und Strömung starken Querkräften ausgesetzt und werden daher oftmals auf mehreren Pfählen gegründet, um die Kippstabilität zu erhöhen. Im Offshore-Bereich finden sich zahlreiche Gründungsstrukturen, welche je nach den spezifischen Anforderungen wie z. B. Wellengang, Bodenverhältnisse, Wassertiefen, Strömungsstärken und Kostenfaktoren unterschiedlich angepasst sind.

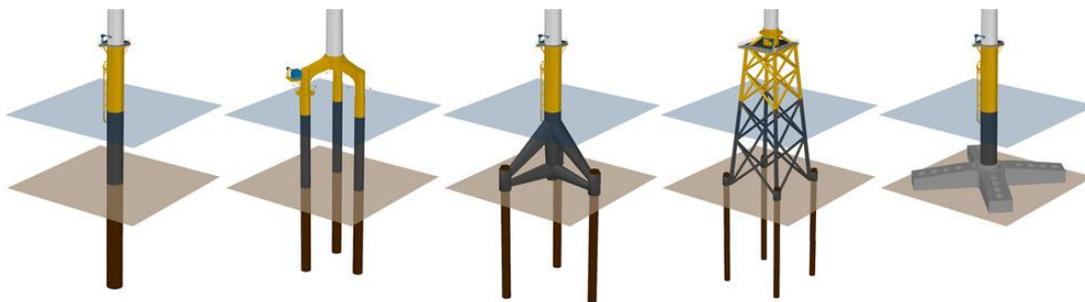


Abb. 5: Gängige Gründungsstrukturen für Offshore-Windenergieanlagen

Neben den in Abb5 dargestellten Gründungsstrukturen sind weitere Konstruktionen wie die Saugrohrgründung und schwimmende OWEA in der Offshore Industrie vorhanden und werden weiter entwickelt. Der Monopile, welcher aus einem einzigen Rohrpfahl besteht und das aus einem Betonsockel hergestellte Schwerkraftfundament sind nur in geringen Wassertiefen von 20m wirtschaftlich. Tripod, Jacket und Tripile werden bis zu einer Wassertiefe von 50m errichtet. Bei diesen aufgelösten Gründungsstrukturen teilt sich die Last in axiale Kräfte auf, statt wie bei einem Monopile in Momente, vertikale und horizontale Kräfte. Das Einbringen von Gründungsstrukturen ab einer Wassertiefe von 50m ist aufgrund von exponentiell steigendem Materialverbrauch und sehr hohen Transportkosten unwirtschaftlich und es werden stattdessen schwimmende OWEA wie vor der Südwestküste von Norwegen installiert.

Belastung der Gründungsstrukturen

Offshore Windenergieanlagen sind enormen Belastungen ausgesetzt. Die folgenden Kapitel geben einen Überblick, welche unterschiedlichen Arten speziell die Gründungsstrukturen belasten. Der Fokus liegt auf den Wellenlasten.

Mariner Bewuchs

Die ins Meer eingebrachten künstlichen Hartsubstrate wie z.B. OWEA, Ölplattformen und Brückenpfeiler werden in der Regel sehr schnell von einer sessilen Gemeinschaft aus Wirbellosen und Algen besiedelt. Das Potential des Besiedelns durch bspw. Larven- und Futtermaterial (Phytoplankton) an diesen Strukturen ist in der deutschen Nordsee sehr groß. An den künstlichen Hartsubstraten ist mit einer

Biomasseakkumulation von bis zu 40kg/m^2 in den oberen zehn Metern zu rechnen. Diese Bio-Fouling-Gemeinschaft wird nach natürlicher Abfolge der Besiedlung stark durch die Miesmuschel *Mytilus edulis* dominiert. Die *Mytilus edulis* weist im Offshore-Bereich eine etwa doppelt so hohe Wachstumsrate auf wie im Küstenbereich, wodurch der Biomassezuwachs pro Jahr noch weiter ansteigt. Biomassezuwachs in solchen Dimensionen kann die Konstruktionen stark belasten und deren Stabilität gefährden.



Abb. 6: Mariner Bewuchs an einer Jacketkonstruktion (Alpha Ventus) in 3m Tiefe

Diese Aufwuchsgemeinschaft führt einerseits zu einer höheren Belastung der GS, welche eine größere Menge Stahl für die Stabilität fordert, andererseits wird durch die assoziierte Mikrofauna die Korrosion an den GS verstärkt und eine Kontrolle der Schweißnähte vermehrt erschwert. Diese Faktoren ergeben eine Notwendigkeit der Entfernung der Aufwuchsgemeinschaften an den GS, damit bspw. Stahl eingespart werden kann. Der Standard zur konstruktiven Ausführung von OWEA des BSH fordert eine komplette jährliche Prüfung von 25% der vorhandenen Anlagen. Eine 15 cm dicke Fouling-Schicht z.B. an einer Ölplattform bedeutet zwar nur eine Gewichtszunahme von 0,15%, jedoch nimmt die hydrodynamische Belastung hierdurch um bis zu 17,5% zu. Diese Ausmaße behindern nicht nur die durch Taucher durchgeführte Überprüfung der Schweißnähte, sondern verstärken auch die bereits erwähnte Korrosion.

Wellenlasten und Theorien

Der Seegang setzt sich aus Dünung und Windsee zusammen. Die aus größerer Entfernung heranlaufende Welle wird als Dünung bezeichnet und zeichnet sich durch langperiodische, gerundete und regelmäßige Wellenformation aus. Sie macht in der Nordsee einen nennenswerten Anteil des Seegangs aus. Die Windsee entsteht durch Wind erzeugte, kurzperiodische und unregelmäßige Wellen, die dort entstehen,

wo der Wind direkt einwirkt. Eine bestimmte Einwirkstrecke (Fetch) und eine Einwirkdauer wird zur Erregung der Wassermassen benötigt. Die als ausgereifte See bezeichnete charakteristische Form der Meeresoberfläche bildet sich durch hinreichende Einwirkdauer des Windes bei ausreichendem Fetch. Die Windgeschwindigkeit entspricht dann in etwa der Wellengeschwindigkeit. Bei kleinem Fetch in Küstennähe können durch die geringen Distanzen, z.B. in der Ostsee, kaum Wellenhöhen über 6m erreicht werden. Abb7 zeigt die Überlagerung von mehreren Wellen, welche durch lang- und kurzperiodische Wellenformationen entstehen.

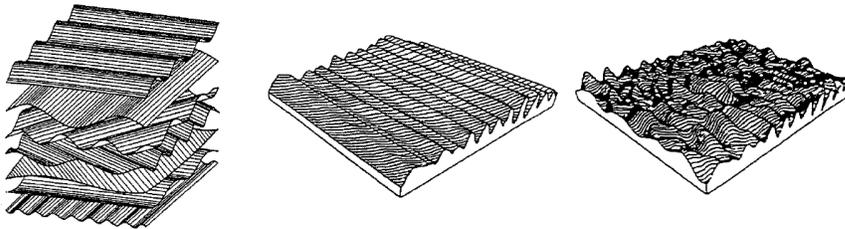


Abb. 7 : (v.l.) Überlagerung mehrerer Wellen, langperiodische Wellenformation, kurzperiodische Wellenformation

Die räumliche und zeitliche Entwicklung des in Abb7 gezeigten Seegangs kann mit Hilfe der linearen oder nichtlinearen Wellentheorie annähernd berechnet werden. Je nach Wellensteilheit wird linear (geringe Wellensteilheit) oder nichtlinear (große Wellensteilheit) gerechnet. Lineare Wellen zeichnen sich durch Wasserpartikel aus, welche sich auf Orbitalbahnen bewegen und lediglich einen Energietransport aufweisen. Nichtlineare Wellen bewegen sich nicht auf den Orbitalbahnen, sondern zeigen sich durch das Aufsteilen und anschließende Brechen der Wellen. Sie gehen in eine horizontale Bewegung über und transportieren dadurch Masse. Abb8 verdeutlicht schematisch das Verlassen der Orbitalbahnen in eine Horizontalbewegung beim Einlaufen von Wellen in flaches Wasser.

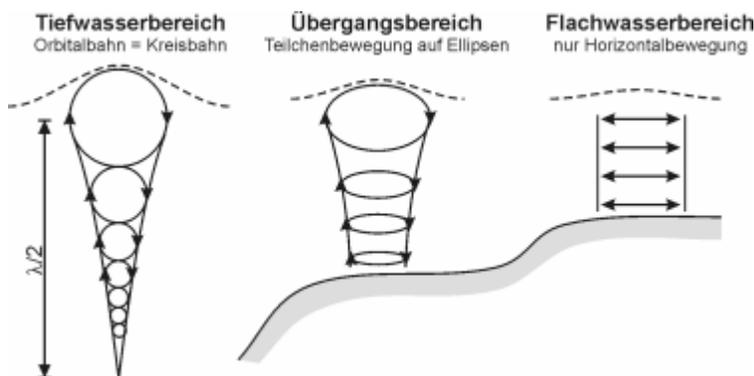


Abb. 8: Schematische Darstellung der Orbitalbahnen, welche in den horizontalen Massetransport übergehen (14)

Die mathematische Beschreibung von Wellen wird als monochromatische Welle mit der Amplitude a vereinfacht beschrieben. Die Wellenhöhe H wird vom Wellental bis zum Wellenberg definiert und ist das 0,5-fache der Amplitude. ξ beschreibt die Wasserspiegelauslenkung, welche in der z -Koordinate immer positiv von der ungestörten Wasseroberfläche (x -, y -Ebene) ausgerichtet ist. Die Wellenlänge λ beschreibt die Strecke zwischen zwei benachbarten Wellentälern oder -bergen. Sie bestimmt bei allen Wellenarten die Wellenzahl k :

$$k = \frac{2 * \pi}{\lambda}$$

Formel 1: Bestimmen der Wellenzahl

mit:

k = Wellenzahl
 λ = Wellenlänge (im Verlauf der Arbeit mit L_k oder L_L gekennzeichnet)

Die Wiederholung eines Wellenvorgangs (λ) an einem festen Ort wird mit der Periode T definiert.

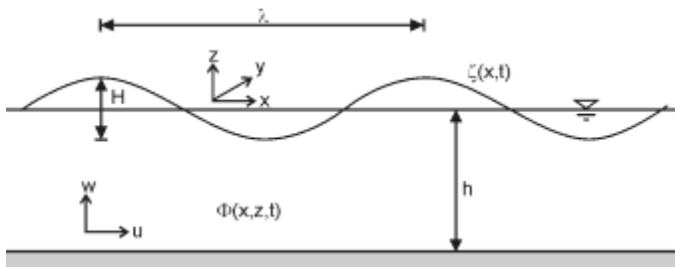


Abb. 9: Schematische Darstellung einer monochromatischen Einzelwelle

Diese Parameter werden für die Kalkulation der Morison-Gleichung benötigt. Für die Partikelgeschwindigkeit und -beschleunigung werden die berechneten Parameter k , λ und T benötigt. Die Berechnung der Wellenlasten nach Morison werden von Hand in dem Kapitel Zusammenfassung der Ergebnisse durchgeführt und erläutert.

Für die Berechnung der Wellenlasten an einem Jacket werden im Folgenden drei Wellentheorien unterschieden und betrachtet:

- Lineare Wellentheorien nach *Airy*
- Stream Function nach *Dean und Dalrymple*
- Wellentheorie nach *Stokes*

Die lineare Airy Theorie (1845) erfüllt nur Bedingungen für kleine Wellen. Die Wasserpartikel dieser kleinen Amplituden bewegen sich auf den genannten Orbitalbahnen. Die Wasseroberfläche der Airy Wellen ist bezüglich seiner Horizontal- und Vertikalachse symmetrisch.

Die Stokes Theorie (1847) betrachtet nichtlineare Terme bestimmter Ordnungen, Randbedingungen sind teilweise erfüllt. Diese nichtlineare Wellentheorie ist für Wellen mit einem größeren Verhältnis von Wellenhöhe zu Wellenlänge (Wellensteilheit). Die Approximation der Wasseroberfläche ist genauer als die der Airy Theorie und eignet sich damit für höhere Wellen.

Die Stream Function Theorie von Dean (1965) erfüllt hingegen alle geforderten Randbedingungen. Diese nichtlineare Theorie erstreckt sich über einen sehr viel größeren Anwendungsbereich. Die Wellenform ist ebenso wie die der Stokes Theorie asymmetrisch bezüglich des Ruhewasserspiegels und simuliert höhere Wellenberge und Täler etwas flacher. Diese drei Wellentheorien werden durch das Brechen von Wellen

im Flachwasserbereich und durch das Überschreiten der Steilheit im Tiefwasserbereich begrenzt (vgl. Abb10). Das Anwenden der jeweiligen Theorie wird durch die Parameter H , d , g , T , und $H_{s,50}$ bestimmt. Abb10 zeigt die Anwendungsbereiche verschiedener Wellentheorien.

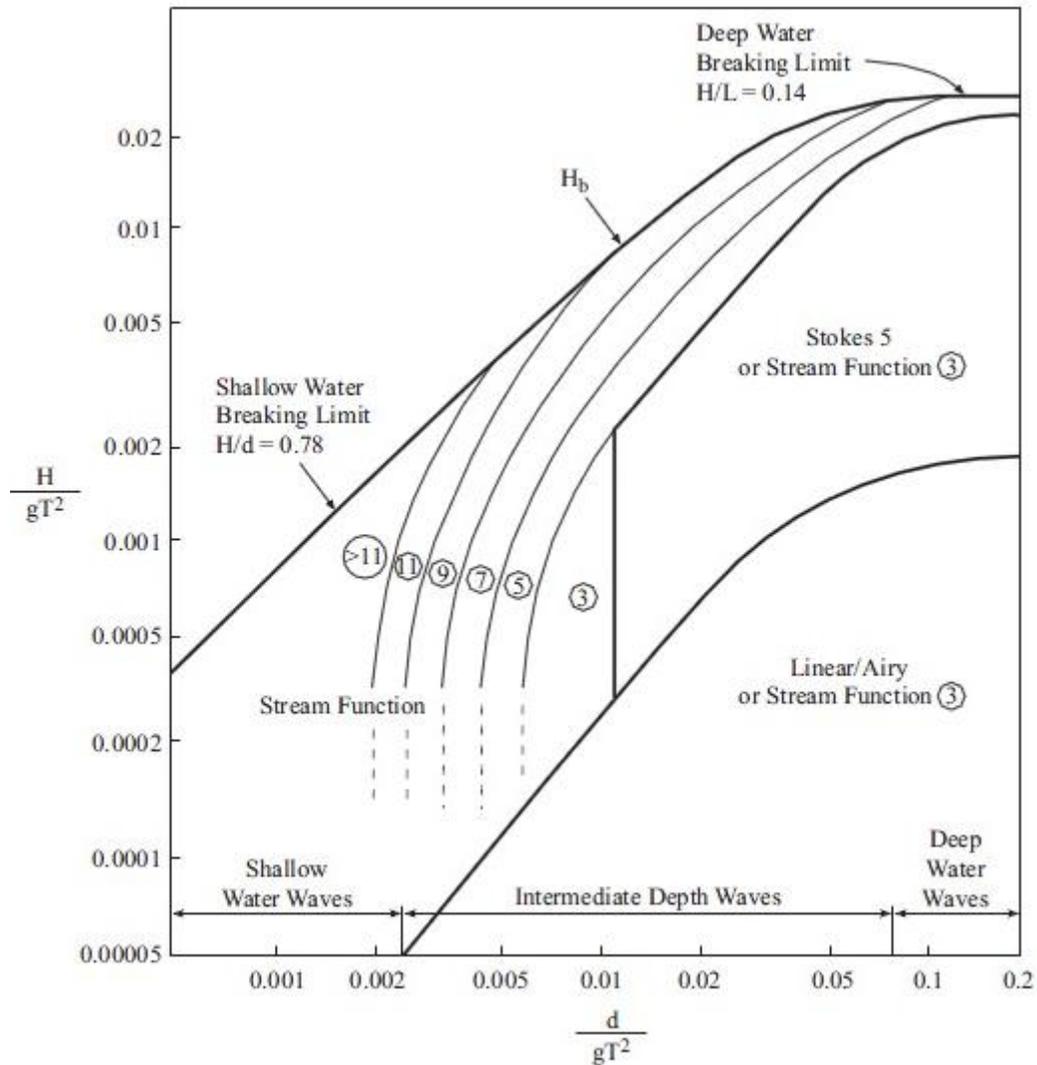


Abb. 10 : Anwendungsbereich verschiedener Wellentheorien

Auf das in Abb10 gezeigte Diagramm wird im späteren Verlauf dieser Arbeit eingegangen. Das Zusammenspiel der Parameter zum Ermitteln einer Wellentheorie wird erläutert und an Berechnungen gezeigt. Zur Definition aller Tidenhub Gewässer, größer 30cm, wird seit 2005 LAT genutzt. LAT ist der astronomisch am niedrigsten mögliche Gezeitenwasserstand (vgl. Abb11 (Darstellung der verschiedenen Wasserpegel)) und spielt für die Probenahme und den marinen Bewuchs eine wichtige Rolle.

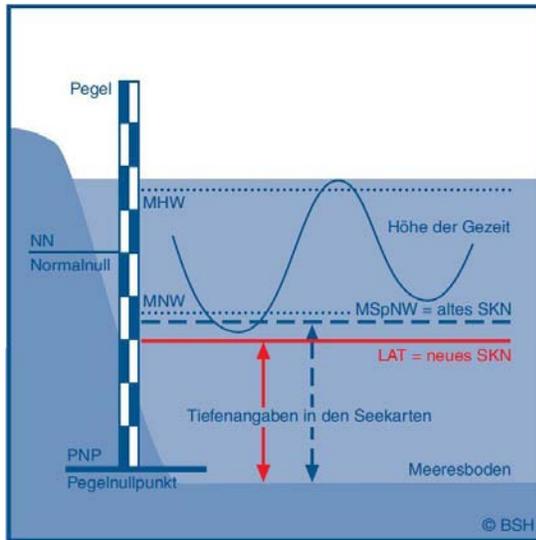


Abb. 11 : Darstellung der verschiedenen Wasserpegel

Richtlinien zur konstruktiven Ausführung

Für den Bau der Gründungsstrukturen gelten verschiedene Richtlinien, welche die Auslegung für den Widerstand der Wellenlasten vorschreiben. Zur Berechnung der auftretenden Wellenlasten dient der *Germanische Lloyd 2008 – Guideline for the Certification of Offshore Wind Turbines* (GL 2008). Dieser beschreibt in 4 die externen Konditionen, welche bei einer Offshore errichteten WEA auftreten können. Zusätzlich folgt in die Berechnung dieser Lasten anhand eines Leitfadens. Um die Wellenparameter für das Programm STAAD.Offshore zu ermitteln, wird mit diesem Leitfaden gearbeitet (vgl. Berechnungsmodelle mit STAAD.Offshore). Neben dem GL 2008 stellt die Richtlinie *DNV-OS-J101 2011 - Design of Offshore Wind Turbine Structures* die Berechnungsart von Wellenlasten dar.

Die Richtlinien für das Ermitteln von Lasten an Offshore Gründungsstrukturen basieren größtenteils auf Erfahrungen aus der Ölindustrie im Offshore Bereich, sowie auf mathematischen Berechnungen. Wichtige Faktoren für die Berechnungen stellen Strömungswiderstandskoeffizient (C_D) und Massenträgheitskoeffizient (C_M) dar. Diese weichen in unterschiedlichen Quellen stark voneinander ab. Der GL 2008 und DNV 2011 geben folgende Werte für C_D - und C_M vor:

Tab. 1 : Indikative hydrodynamische Koeffizienten für zylindrische Bauteile

	Germanischer Lloyd	Det Norske Veritas
CD	1,1 – 1,2	1,05
CM	2,00	1,20

Diese enormen Unterschiede zeigen, dass es aktuell keine Einigkeit über die Faktoren gibt. In den folgenden Berechnungen werden jedoch die Parameter des GL genutzt, da diese zu einer größeren Last führen und dies für statische Berechnungen eine höhere Sicherheit bedeutet.

Lastenheft

Dieses beispielhafte Lastenheft wurde im Juni 2009 von der WeserWind GmbH aufgestellt. Mithilfe des vorgesehenen Einsatzgebietes sind die baulichen Rahmenbedingungen definiert. In dem Lastenheft sind die Beschaffenheit der Umwelt (Boden und Bodenmechanik) sowie die zu erwartenden Lasten bezüglich Wind, Wellen und Seegang festgelegt. Als Basis wird mit einer 5 MW Anlage gerechnet. Tab. 1 zeigt die allgemeinen Daten, die an dem analysierten Standort vorherrschen. Daten über Strömung und Tide haben in der Wellenberechnung einen großen Stellenwert, welcher im späteren Verlauf beispielhaft berechnet wird. Tab. 2 fasst Daten zusammen, welche für die Verwendung von STAAD.Offshore benötigt werden. Die Berechnungen beziehen sich in dieser Arbeit auf den OWP Alpha Ventus und werden deshalb nicht aus dem Lastenheft bezogen, sondern mit Hilfe des GL 2008 neu berechnet.

Tab. 1: Allgemeine Daten eines Beispielstandortes

Nummer	Bezeichnung		Werte/Daten
1	100-Jahres Welle	H_{\max}	LAT+ 16,92m
2	Highest still water level	HSWL	LAT+ 4,17m
3	Highest astronomical tide	HAT	LAT+ 2,75m
4	Mean sea water level	MSL	LAT+ 1,37m
5	Lowest astronomical tide	LAT	0,00m
6	Lowest still water level	LSWL	LAT- 0,83m
7	Strömung (100-Jahre)	Winderzeugt Gezeitenströmung	0,9m/s 0,6m/s

Tab. 2: Wellenparameter einer 50-Jahres Bemessungswelle

Nummer	Wellentyp	Zeichen	Kurze Welle	Lange Welle
1	Bemessungswassertiefe	d	28,0	
2	Wellenhöhe	H	16,5	
3	Brechkriterium (Flachwasser)	H/d	0,46 < 0,78	
4	Wellenperiode	T	9,5s	14,0s
5	Theorie		Stream-Function	
6	Wellenlänge	L	165m	267m
7	Relative Tiefe	d/L	0,217	0,134
8	Wellensteilheit	h/L	0,1	0,062
9	Parameter für die relative Tiefe	d/T ²	0,396	0,182
10	Parameter für die Wellensteilheit	H/T ²	0,183	0,084
11	Höhe Wellenberg	H_{Berg}	11,03	11,39
12	Tiefe Wellental	H_{Tal}	5,46	5,09

Projekt NutriMat

Nutritional Material from Fouling Organisms, kurz NutriMat, ist ein Forschungsprojekt, welches von den Projektpartnern Imare GmbH und WeserWind GmbH Offshore Construction Georgsmarienhütte gemeinsam bearbeitet wird. Gegenstand und Zielsetzung des Projektes NutriMat ist die Untersuchung der Eignung und Qualität des Aufwuchses an den GS von OWEA als alternative Protein- und Lipidressourcen für die Aquakultur, sowie die Entwicklung eines geeigneten Ernte- und Verarbeitungsverfahrens. Die im Rahmen des Forschungsprojektes ermittelten Daten über die Schichtdicke des Aufwuchses und deren Bewuchseigenschaften geben Aufschluss über die zusätzlich entstehende Wellenbelastungen durch einen zunehmenden Durchmesser der GS.

Alpha Ventus

Die Ausfahrt zum OWP Alpha Ventus gibt einen Überblick über den derzeitigen Status des Aufwuchses an den GS und die bereits entstandenen Korrosionsschäden. Der im April 2010 in Betrieb genommene OWP Alpha Ventus liegt 45km nördlich von Borkum in 30m tiefem Wasser mit 12 WEA der 5MW Klasse und in einem Raster von ca. 800x800m. Die installierten Anlagen stammen je zur Hälfte von den Firmen REpower mit Jacket-Konstruktionen und Areva Wind mit Tripoden als Gründungsstrukturen. Bauherr und Betreiber in einem ist die aus einem Konsortium von den drei Energieversorgungsunternehmen EWE, E.ON, und Vattenfall gebildete *Deutsche Offshore-Testfeld und Infrastruktur GmbH & Co. KG* (DOTI). Die 12 Anlagen sind über eine parkinterne Verkabelung mit einer Umspannplattform verbunden. Der hier in 110kV transformierte Strom wird über eine 60km lange Drehstromverbindung zum Festland transportiert.

Ausfahrt zum OWP Alpha Ventus

Die Ausfahrt zum Alpha Ventus wurde im Vorfeld mit den Projektpartnern vom Imare und der WeserWind GmbH geplant und mit Roland Krone des Unternehmens DataDiving abgesprochen. Die Ausfahrt mit der FS Schall dauerte vom 12.04.2012 bis zum 13.04.2012. Nach zwei Ausfahrten wurden jeweils zwei Tripoden (AV7, AV12) und zwei Jacketstrukturen (AV1, AV6) in 1m, 5m und 9m Wassertiefe beprobt.

Erstellung eines Grobkonzeptes zur Entwicklung eines Erntegerätes (AP3)

Das Ziel des Vorhabens war die Entwicklung eines Ernte- und Reinigungsgerätes (EuRG) für marinen Bewuchs an Offshore-Gründungsstrukturen, wie beispielsweise Tripods oder Monopiles. Dabei interessierte bei den Tripods nur der obere Abschnitt des Zentralrohres, genauer gesagt der Bereich zwischen Lowest Astronomical Tide (LAT) und LAT - 9 m (bzw. dem oberen Ende der angeschweißten Kopfstreben, je nachdem welcher Fall eher eintritt). Bei den Monopiles wurde nur der Bereich zwischen LAT und LAT - 9 m betrachtet. Anbauteile, wie z. B. Boatlandings, wurden bei beiden Gründungsstrukturarten vom Ernte- und Reinigungsprozess ausgeschlossen.

Die Entwicklung des EuRG erfolgte über einzelne kleinere Teilaufgaben. Am Anfang stand die Auswahl eines geeigneten Ernte- und Reinigungssystems. Zur Findung des passenden Systems wurden praktische Versuche durchgeführt. Des Weiteren mussten passende Absaug- bzw. Auffangsysteme für die Muschelernte ausgewählt werden. Nach der Auswahl der einzelnen Komponenten erfolgte die Konstruktion des EuRG. Im abschließenden Fokus standen Logistik- und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zum entwickelten Produkt.

Test verschiedener Ernte- & Reinigungsverfahren

Im Folgenden werden die beiden durchgeführten praktischen Versuche zur Findung eines nutzbaren Systems zur Ernte von Miesmuscheln bei gleichzeitiger Reinigung der Offshore-Gründungsstrukturen beschrieben.

Test eines Kavitationsreinigungssystems

Zur Durchführung des Versuches mit einem Kavitationsreinigungssystem wurden dem IMARE von der WeserWind GmbH Platten übergeben. Diese Platten bestanden aus unbeschichtetem Baustahl und hatten die Abmessungen 247 x 247 x 2 mm (Länge x Breite x Dicke). An einer Ecke haben sie zwei unterschiedlich große Bohrungen, die z. B. zum Fixieren der Platten genutzt werden können. Eine dieser Platten ist in Abb. zu sehen.

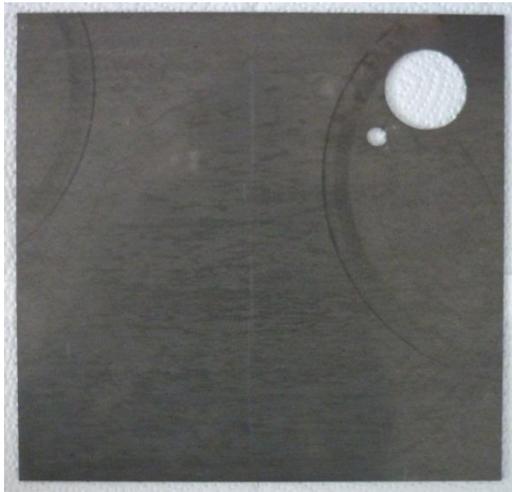


Abb. 12: Unbeschichtete Platte aus Baustahl.

Am IMARE wurden sechs dieser Platten am 03. September 2012 in ein mit Meerwasser gefülltes Becken gegeben und anschließend Miesmuscheln beigefügt, welche aus dem Außenhafen von Helgoland stammten. Die Platten wurden mit den Muscheln zusammen für einen Zeitraum von etwa zwei Monaten im Wasserbecken belassen und am 01. November 2012 entnommen, um den Versuch mit dem Kavitationsreinigungssystem durchzuführen.

Der eigentliche Versuch mit dem Kavitationsreinigungsgerät wurde von der Firma „Nordseetaucher GmbH“ durchgeführt. Als Versuchsort diente das Becken des Handelshafens Ecke Hauptkanal an der Körperstraße in Bremerhaven. Die Verpackung der Platte mit den dazugelegten Miesmuscheln erfolgte in ein handelsübliches Fischernetz mit einer Maschenweite von 2 x 2 cm. Dabei wurden die offenen Ecken und Kanten des Netzes mithilfe von Kabelbindern verschlossen, sodass die Miesmuscheln und die Platte vollständig vom Netz umhüllt waren. Die so verpackten Miesmuscheln sind in Abb dargestellt.



Abb. 13: In Fischernetz eingepackte Miesmuscheln mit korrodiertes Platte.

Die eingepackte Platte mit den Miesmuscheln wurde an einer Leine befestigt und ins Hafenbecken zu einem Taucher der Firma „Nordseetaucher GmbH“ hinabgelassen. Dieser befestigte die Platte unter Wasser mithilfe eines Schraubstocks. Anschließend startete der eigentliche Versuch.

Dazu wurde dem Taucher die Kavitationslanze des Kavitationsreinigungsgerätes „CaviBlaster Model – 1222“ hinabgelassen. Anschließend richtete der Taucher den Kavitationsstrahl mehrmals für bis zu zehn Sekunden auf die im Fischernetz eingepackten Muscheln. Der komplette Vorgang wurde dabei mithilfe einer im Helm des Tauchers integrierten Kamera gefilmt und anschließend die eingepackte Platte an der Leine aus dem Hafenbecken gezogen. Danach erfolgt die Auftrennung des Netzes, um einen besseren ersten Eindruck vom Ergebnis des Versuches zu erhalten.

Nach Durchführung des Versuches wurden die Miesmuscheln sowie die Platte sorgfältig verpackt und anschließend zu tkb. transportiert, um am nächsten Tag (02. November 2012) untersucht zu werden. Das Hauptaugenmerk richtete sich auf offensichtliche Beschädigungen an den Muscheln. Es wurden die am Versuch beteiligten Miesmuscheln ausgezählt und dabei zwischen unbeschädigten und beschädigten Muscheln unterschieden. Außerdem erfolgten eine Auszählung der restlichen unbeprobten Muscheln und ihre Unterscheidung auf die gleiche Weise, um Rückschlüsse auf die dem Kavitationsverfahren zuzuschreibenden Muschelbeschädigungen zu ziehen.

Test eines Bürstenreinigungssystems

Zur Durchführung dieses Versuches wurden mit Standard-zwei-Komponenten-Epoxidharz beschichtete Platten am 4. Juni 2012 ins Kieler Hafenbecken ausgesetzt. Diese Platten sind ohne Aufwuchs ins Wasser gehängt worden.

Nach etwa vier Monaten im Kieler Hafenbecken wurden sie dann am 10. Oktober 2012 der Versuchsanlage zugeführt. Die Versuchsreinigungsanlage ist eine mobile Version der mit Bürsten arbeitenden Bootswaschanlage der Firma „IPT UG“ aus Bremerhaven. Dieses System ist in Abb. zur Veranschaulichung dargestellt. Deutlich zu erkennen sind die aus Holz bestehende Rahmenkonstruktion

(blauer Anstrich), die hydraulisch angetriebene rotierende Bürste (gelb) sowie der mittels Riemen bewegliche Führungsschlitten (türkis), in den die Platte eingespannt werden kann.



Abb. 14: Mobile Version der Bootswaschanlage der Firma „IPT UG“ zum Test des Bürstenreinigungssystems.

Nach der etwa vier Monate dauernden Zeit, die die Platten im Wasser verbrachten, siedelten sich auf ihnen hauptsächlich Seepocken, Miesmuscheln sowie Algen an. Die Platten wurden nacheinander in den Führungsschlitten der mobilen Unterwasserwaschanlage eingespannt und dann jeweils der automatisch ablaufende Reinigungsvorgang gestartet. Ein Auffangen der abgereinigten Muscheln erfolgte nicht. Am Ende des Reinigungsvorganges wurden die Platten zur Ergebniskontrolle aus dem Führungsschlitten ausgespannt und an Land untersucht.

Konstruktion

Nach der Grundlagenrecherche und Gesprächen mit verschiedenen unternehmensinternen sowie -externen Personen wurde ein Konzept für die verschiedenen funktionalen Module des EuRG erarbeitet und in einer Entwurfsskizze festgehalten (Abbildung).

Das Konzept sieht vor, an der Spitze des ausziehbaren-Moduls [C] die Düse des Kavitationsreinigungssystems [A] zu installieren. Das ausziehbare-Modul dient dazu, die Gründungsstruktur auch in der unteren Wasserwechselzone vom marinen Bewuchs zu befreien, da das EuRG selbst nicht in der Lage ist, sich oberhalb der Wasserlinie an den Gründungsstrukturen zu bewegen.

An der Spitze des ausziehbaren-Moduls [A] ist zudem eine Auffangvorrichtung für die Ernte [B] installiert, die selbst auch ausfahrbar oder faltbar (dargestellt durch zwei gegenläufige rote Pfeile) sein muss, da sie auf ihrer anderen Seite fest mit dem Träger-Modul [E] des EuRG sowie mit der nächsten Stufe der Auffangvorrichtung verbunden ist. Auf dem Träger-Modul wird auf der kompletten Länge des Gerätes die Auffangvorrichtung so konzipiert, dass ausreichend Wasser zur Absaugvorrichtung [H] gelangen kann, damit diese nicht trockenläuft. Als Absaugsystem kann eine sogenannte Luftheber-Pumpe (oder auch Mammutpumpe genannt) zum Einsatz kommen. Diese Pumpe wird mithilfe eines auf dem Service-Schiff stehenden Kompressors über einen Versorgungsschlauch [J] mit der benötigten Luftmenge versorgt. Die in das Absaugsystem eingeblasene Luft bewirkt einen Sog, der die abgereinigten Miesmuscheln durch den Absaugschlauch [I] in ein am Service-Schiff befestigtes Fischernetz leitet.

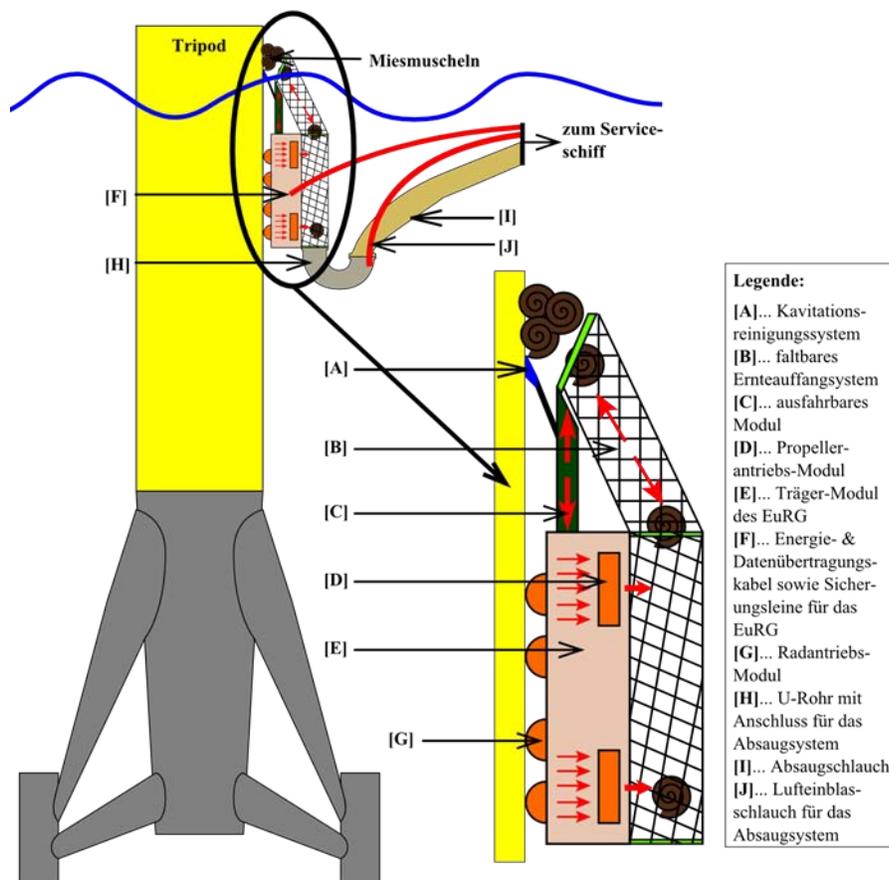


Abbildung 15: Schematische Darstellung des EuRG an einem Tripod.

Das eigentliche EuRG besteht dabei aus einem Träger-Modul [E]. Am Träger-Modul sind alle anderen Bestandteile des Gerätes angebracht. Neben dem schon erwähnten ausziehbaren-Modul [A] sowie dem Auffangsystem für die Ernte [B] sind beide Antriebssysteme an dem Träger-Modul befestigt. Das erste Antriebssystem bildet dabei das Propellerantriebs-Modul [D]. Dieses dient dazu, das EuRG in der Wassersäule zu steuern und anzutreiben. Im Ernte- und Reinigungsmodus dient es dazu, den benötigten Anpressdruck (durch die fünf gleich ausgerichteten roten Pfeile symbolisiert) an die Gründungsstruktur zu generieren. Die Steuerung sowie den Antrieb an den Gründungsstrukturen übernimmt das zweite Antriebssystem, das in diesem Fall das Radantriebs-Modul [G] ist. Die Energieversorgung aller im EuRG enthaltenen Komponenten sowie Datenleitungs- und Sicherheitsfunktionen wird durch eine Versorgungs- und Sicherungsleine [F] realisiert, welche am Service-Schiff befestigt ist und die vom EuRG benötigte Energie entweder vom Schiff selbst oder aber von einem auf dem Schiff stehenden Versorgungsaggregat bezieht.

Die Rahmenbedingungen, nach denen das Konzept erstellt sowie konstruiert wurde, sind in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** aufgeführt.

Tab. 4: Rahmenbedingungen für die Konzepterstellung und Konstruktion des EuRG.

Ernte- & Reinigung allgemein	
Welche Gründungsstrukturen:	Tripods, Monopiles

Bereich:	untere Wasserwechselzone (1 m) bis LAT -9 m oder bis zum oberen Ansatz der Kopfstrebe bei Tripods; Anbauten (z. B. Boatlanding) werden nicht berücksichtigt
Intervall:	jährlich bis zweijährlich, zusammen mit Service und Wartung der OWEA vom selben Schiff
Fläche:	1 OWP mit 80 OWEA ($\varnothing = 5 \text{ m}$) $\rightarrow 80 \times \pi \times 5 \text{ m} \times 10 \text{ m} = 12600 \text{ m}^2$
Dauer pro OWEA:	Ideal < 3 h
Einsatzbedingungen	
Allgemein:	Mit Service und Wartung zusammen
Wartung OWEA:	Maximale Wellenhöhe: 1,8 m
Wartung der Gründungsstruktur:	Maximale Wellenhöhe: 1,5 m; Maximale Strömungsgeschwindigkeit: 0,7 m/s
Miesmuschelteppich	
Lage:	LAT +1,5 m bis LAT -2,5 m
Aufwuchsgewicht	Maximal 40 kg/m ²
Anzahl der Miesmuscheln:	Maximal etwa 35000 ind./m ²
Anhaftkraft je Miesmuschel:	maximal 0,3 N/Byssusfaden x 20 Byssusfäden = 6 N
Beschichtung der Gründungsstruktur	
Beschichtungssystem außen (im Spritzwasser-bereich und unter Wasser):	Spezielle Epoxidharz-Beschichtung (2 bis 3 Schichten von jeweils 200 bis 250 μm Schichtdicke) und Polyurethan-Deckschicht (1 Schicht mit 60 bis 80 μm Schichtdicke)
Haftfestigkeit:	5 MPa = 5 MN/m ²
Sonstiges:	Vom EuRG hervorgerufene Beschädigungen sind unzulässig

2. Zusammenfassung der Ergebnisse

Auswertung der Untersuchung-in wie weit und ob Biobewuchs auf Gründungsstrukturen schädlich wirkt (AP2)

Im folgenden Abschnitt werden die in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse zusammengefasst und Problemstellungen definiert. Es wurde geprüft, in welchem Maße der Aufwuchs die Strukturen und deren Beschichtung zersetzt. Der Zustand der Strukturen direkt nach der Ernte und mit späteren Zeitpunkten wurde aufgenommen sowie verglichen.

Durchgeführte Arbeiten

Bei jedem Tauchgang waren ein Taucheinsatzleiter, ein Bootsmann und ein Taucher vor Ort. Es wurden jeweils die erwähnten 1m, 5m und 9m abgetaucht und beprobt. Tabelle zeigt den zur Zeit der Beprobung herrschenden Wasserpegel. Anhand der Aufnahmezeit lässt sich erkennen, dass die Tripoden jeweils zur Zeit des Hochwassers und die Jacketkonstruktionen während des Niedrigwassers beprobt wurden. Ein möglicher Vergleich zwischen Jacketkonstruktionen und Tripoden ist aufgrund von einem Wasserpegelunterschied von bis zu 2,10m daher nicht möglich.

Tabelle 5: Beprobung und Wasserstand der Jacketkonstruktionen und Tripoden

NW/HW	Datum	Helgoland	Höhe (LAT +)		Borkum	Höhe (LAT +)
-------	-------	-----------	--------------	--	--------	--------------

NW:	12.04.2012	11.10 Uhr	+ 0,7m	09.55 Uhr	+ 0,7m
HW:	12.04.2012	16.50 Uhr	+ 3,1m	16.00 Uhr	+ 2,9m
NW:	13.04.2012	12.00 Uhr	+ 0,9m	10.45 Uhr	+ 0,8m
HW:	13.04.2012	17.45 Uhr	+ 3,0m	16.55 Uhr	+ 2,8m

Anlage	Aufnahmezeit
AV1 - Jacket - 12.04.2012	10.23 - 11.25 Uhr (NW)
AV12 - Tripod - 12.04.2012	16.07 - 16.51 Uhr (HW)
AV6 - Jacket - 13.04.2012	11.06 - 11.43 Uhr (NW)
AV7 - Tripod - 13.04.2012	16.52 - 17.30 Uhr (HW)

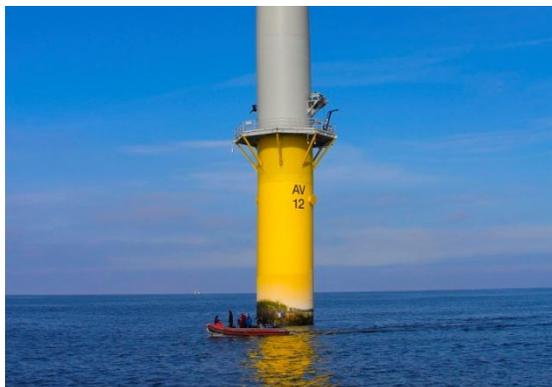


Abb. 16: Tripod bei Hochwasser, Aufnahme datum 12.04.2012 - 16.20 Uhr



Abb. 17: Jacketkonstruktion bei Niedrigwasser, Aufnahme datum 12.04.2012 - 08.29 Uhr

Abb. 16 zeigt die Beprobung des Tripod AV12 oberhalb der Wasserlinie. Abb. 17 zeigt die Jacketkonstruktion AV1, 1,5 Stunden vor Niedrigwasser und Beprobung. Anhand der Abb. 16 und Abb. 17 lassen sich die Höhenunterschiede der Wasserpegel und damit vermutlich verbunden, die unterschiedlichen Bewuchsstärken zeigen.

Bewuchsdicke

Die Anlagen weisen in allen untersuchten Tiefen einen dichten Bewuchs auf. Der Bewuchs variiert jedoch stark in Abhängigkeit von der Tiefe. In geringen Wassertiefen ist der Bewuchs um ein vielfaches dicker, als in Tiefen von 5m oder 9m. Abb. 18 zeigt deutlich die sehr unterschiedlichen Bewuchsdicken in den untersuchten Wassertiefen. Im Bereich von +1,05m bis -2,20m sind bis zu 80mm Bewuchs vorzufinden. Ab einer Tiefe von 4,5m sind nur durch vereinzelt vorkommende Miesmuscheln bis zu 21,67mm Bewuchs vorhanden und bei einer Wassertiefe von 9m sind es nur noch maximal 10mm.

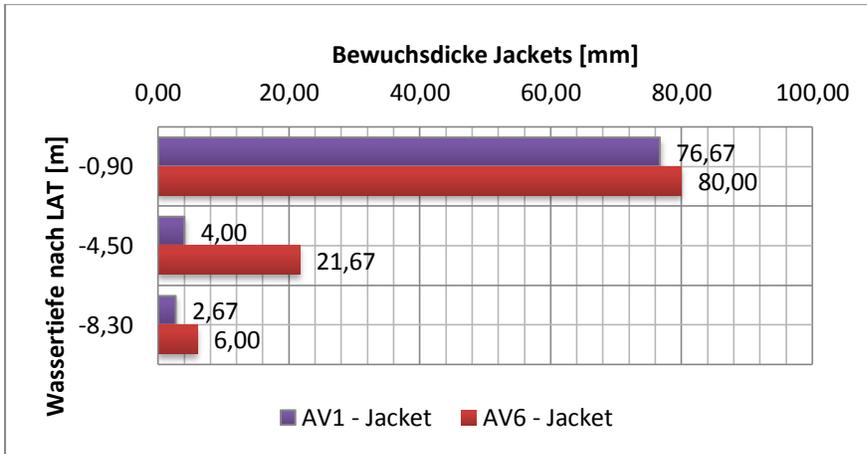


Abb. 18: Bewuchsdicke an den Jackets AV1 und AV6 bezogen auf die LAT Wassertiefe

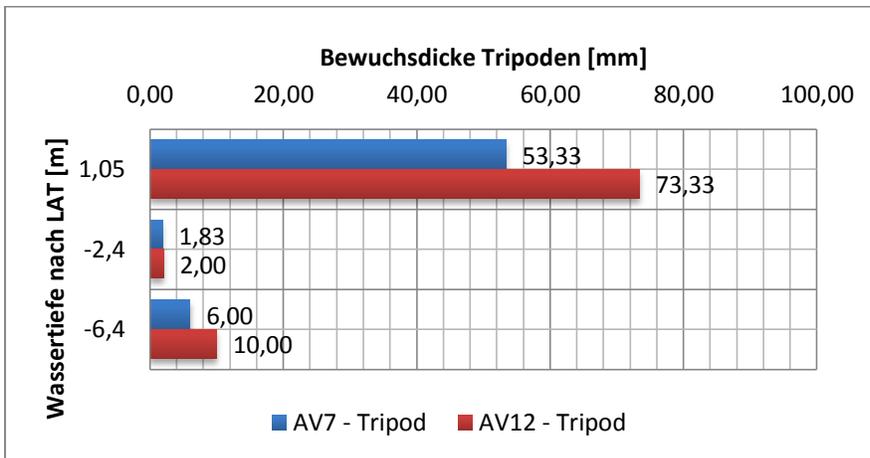


Abb. 19: Bewuchsdicke an den Tripoden AV7 und AV12 bezogen auf die LAT Wassertiefe

Grundlegendes zur Kalkulation von Wellenlasten

Gründungsstrukturen sind Offshore sehr großen Kräften ausgesetzt. Diese Kräfte setzen sich aus den Windlasten, der Gewichtskraft der OWEA, und den Wellenlasten zusammen, wobei in diesem Forschungsvorhaben nur letzteres betrachtet wird. Wellenlasten betragen in ungünstigen Situationen (50- oder 100-Jahres Welle) bis zu 50% der Gesamtlasten. Durch das rechtzeitige Abschalten der Anlage bei zu hohen Windlasten, treten jedoch maximale Wind- und Wellenlasten nicht gleichzeitig auf. In der folgenden Betrachtung werden die Wellenlasten zur Vereinfachung statisch betrachtet.

Wahl der Gründungsstruktur

Für die Berechnung der Wellenlasten werden die Gründungsstrukturen vorerst als ein Monopile betrachtet und mit der Anzahl der Jacketbeine multipliziert. Die für gewöhnlich mit einem Stabwerksprogramm gerechneten Lasten werden zum Vergleich mit einem stark vereinfachten linearen System berechnet.

Wellenlasten

Für die Wahl eines Verfahrens zum Ermitteln der Wellenlasten ist das Verhältnis von Wellenlänge zu Bauwerksdurchmesser maßgeblich entscheidend. Ist dieses Verhältnis relativ groß, wird das Wellenfeld durch das Bauwerk nicht deutlich beeinflusst und es handelt sich um eine hydrodynamisch transparente Struktur. Die Wellenlasten werden folglich als Summe von Widerstands- und Trägheitskraft gerechnet. Für die Berechnung der Wellentheorien stellen Wellenhöhe, Wellenperiode und Wellenlänge die Eingangsparameter dar, mit denen die Partikelgeschwindigkeiten und -beschleunigungen bestimmt werden.

Aufgrund einer Wassertiefe von bis zu 30m werden die GS nicht von brechenden Wellen belastet, da diese erst in flachen Gewässern entstehen. Die zu berechnenden Strukturen werden deutlich vereinfacht, um eine Berechnung von Hand zu ermöglichen. Abbildung 20 zeigt die stark vereinfachte Skizze der Jacketstruktur. Parameter zur Berechnung einer 50-Jahres-Welle entstammen zum Teil der Tab. 2 und den simulierten Daten durch STAAD.Offshore für einen direkten Vergleich. Pfähle, die dichter als vier Pfahldurchmesser zusammenstehen, weisen nebeneinanderstehend eine höhere Belastung auf. Bei hintereinander stehenden Pfählen kommt es zu einer Verringerung der Lasten. Der geringe Pfahldurchmesser ist bei dem Jacket mit einem Footprint von 20,0m jedoch vernachlässigbar gering, sodass es nicht zu erhöhten oder abgeminderten Belastungen kommt.

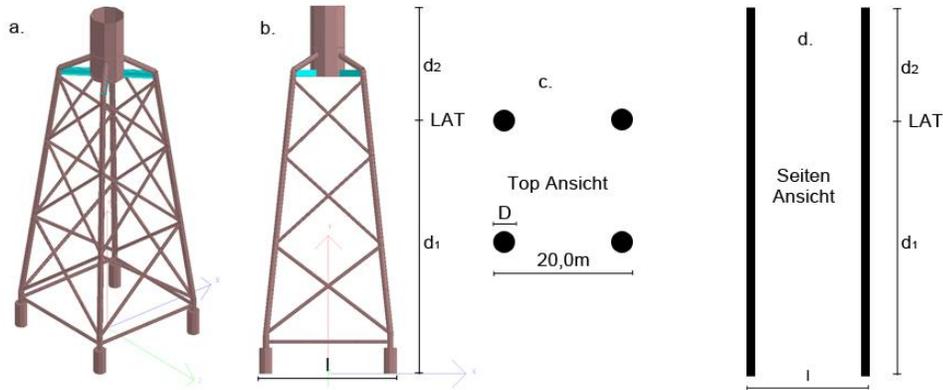


Abbildung 20: Datenblatt der GS zur Berechnung der Wellenlasten

Datenblatt Jacket

Wassertiefe	$d_1 = 29,0\text{m}$
Höhe über LAT	$d_2 = 17,5\text{m}$
Wellenhöhe (vorerst angenommen)	$H = 16,50\text{m}$
Abstand zwischen den Fußstreben	$l = 20,0\text{m}$
Durchmesser	$D = 0,914\text{m}$
Amplitude der Welle	$\xi = 8,25\text{m}$
Wellenperiode lang	$T_L = 14\text{s}$
Wellenperiode kurz	$T_K = 9,5\text{s}$
Wellenlänge lang	$L_L = 212,51\text{m}$
Wellenlänge kurz	$L_K = 126,03\text{m}$

Wellenhöhe, -länge und -perioden sind voneinander abhängig. Die Werte entstehen durch die vorgegebene Wellenhöhe von 16,50m. In folgender Abbildung werden die an einem Pfahl wirkenden Kräfte deutlich. Die resultierende Kraft (in blau dargestellt) ist der von allen simulierten Wellentheorien ausgegebene Wert in kN.

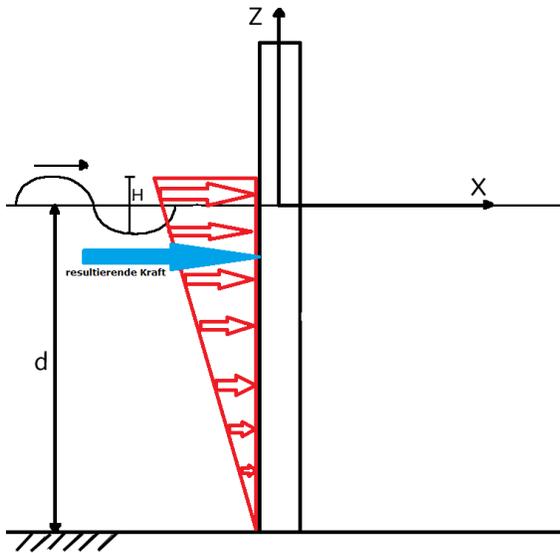


Abbildung 21: Kraftverlauf an einem Pfahl mit der resultierenden Kraft (blau)

Berechnungsmodelle mit STAAD.Offshore

STAAD.Pro & STAAD.Offshore

Bei STAAD.Offshore handelt es sich um eine Software, die in den Bereichen Wellenlasten und Seetransport ein sehr flexibles und effektives Visualisierungswerkzeug darstellt und auf der Software STAAD.Pro aufbaut. Da im Rahmen dieser Forschungsarbeit lediglich die Berechnung von Wellenlasten von Interesse ist, wird im Folgenden nur STAAD.Offshore oberflächlich erläutert.

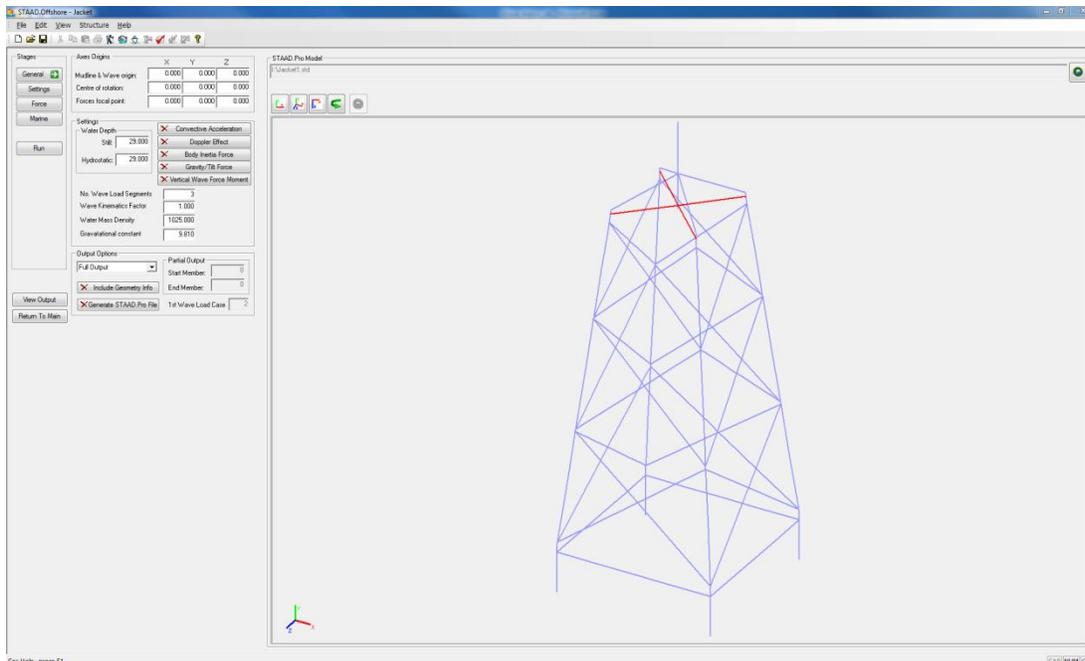


Abb. 22: Definition einer Jacketstruktur mittels STAAD.Pro

In Abbildung 22 ist das Eingabemenü für die Definition gewünschter Strukturen dargestellt. Mittels einer Eingabemaske erfolgt die Definition der einzelnen Punkte jener Struktur, welche im Anschluss durch Stäbe verbunden werden. Nach Vollendung der Stabkonstruktion können verschiedene Dichte-Werte, E-Module, Stabquerschnitte oder Auflager definiert werden. STAAD.Pro verfügt über eine interne Bibliothek, welche genormte Bauteilspezifikationen beinhaltet, mit Hilfe derer die Stabkonstruktion DIN gerecht erstellt wird. Je nach den statischen Gegebenheiten können ebenso Einspannungen, Gelenke oder bewegliche Lager eingefügt werden. Nach Fertigstellung der gewünschten Stabkonstruktion kann diese in das Zusatzmodul STAAD.Offshore für weitere Berechnungen eingelesen werden. Für dieses Forschungsvorhaben wurde anfangs ein einfacher Monopile erstellt, um an einem einfachen Beispiel die verschiedenen Wellentheorien zu testen.

Um die erstellte STAAD.Pro Konstruktion unter Einfluss von Wellen zu testen, müssen Parameter für die zu berechnende Welle festgelegt werden.

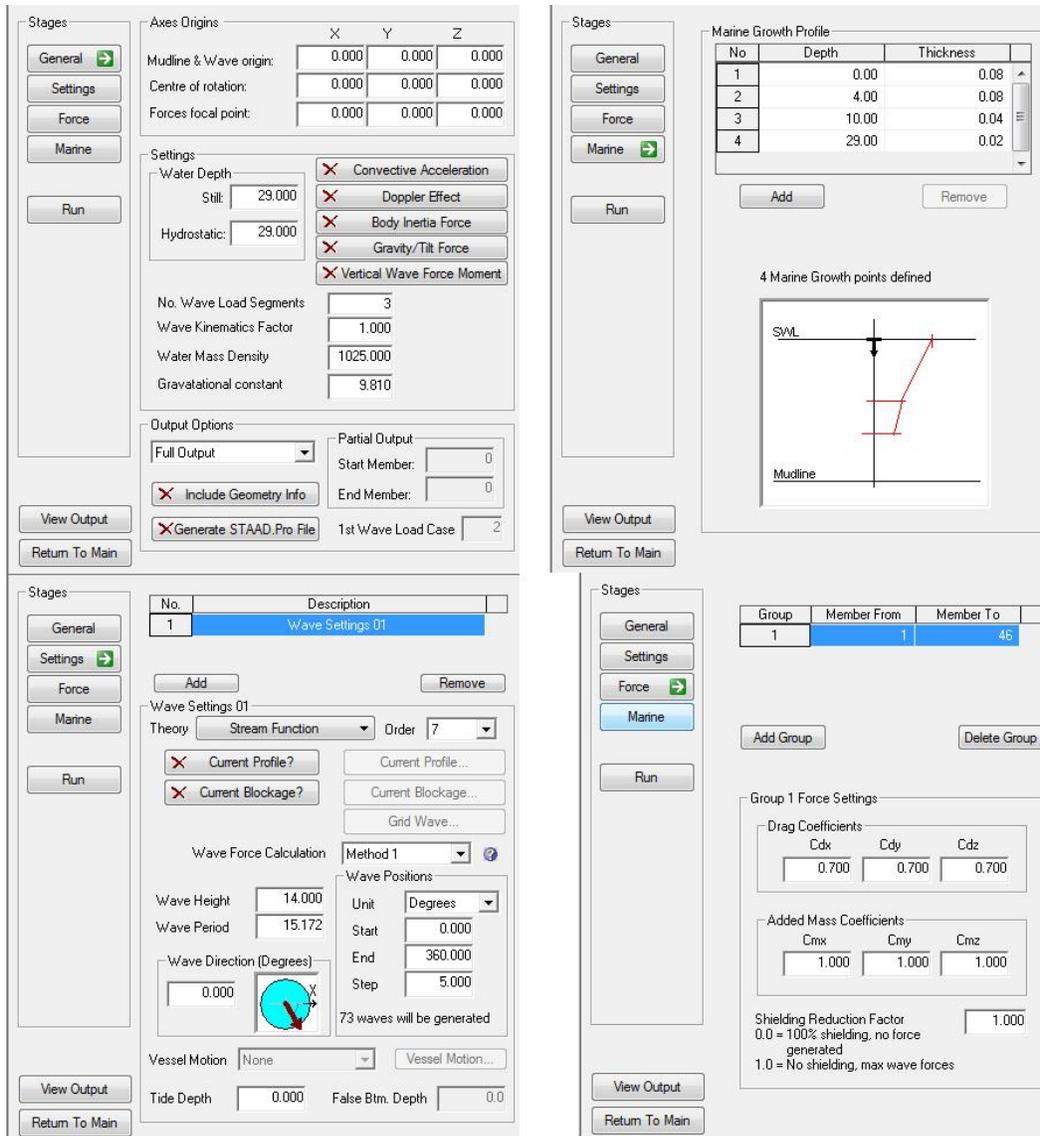


Abbildung 23: Verschiedene Eingabemasken der STAAD.Offshore Software

In Abbildung 23 sind die vier verschiedenen Eingabemenüs General, Settings, Force und Marine dargestellt. Der Menüpunkt General wird mit grundlegenden Daten wie Wassertiefe, Wasserdichte und Erdbeschleunigung definiert. Die Settings werden mit den Parametern wie Strömung (Current), Wassertiefensituation, oder der zu betrachtenden Welle belegt. Force stellt die ebenfalls in der Morrison-Gleichung vorkommenden Parameter C_d und C_m dar. Die für diese Arbeit bedeutsamsten Parameter befinden sich unter dem Menüpunkt Marine. Über das Hinzufügen von Abständen in der Tiefe können hier die unterschiedlichen Bewuchsdicken eingetragen werden. Aufgrund der bereits erläuterten Tauchfahrt, sind diese Parameter wie folgt belegt:

0,0m – 4,0m → 0,08m

4,0m – 10,0m → 0,04m

10,0m – 29,0m → 0,02m

Sind alle Parameter eingetragen, folgt die Berechnung durch Run. STAAD.Offshore erstellt daraufhin eine interne Textdatei, welche durch Show Output angezeigt wird (vgl. Abbildung 34).

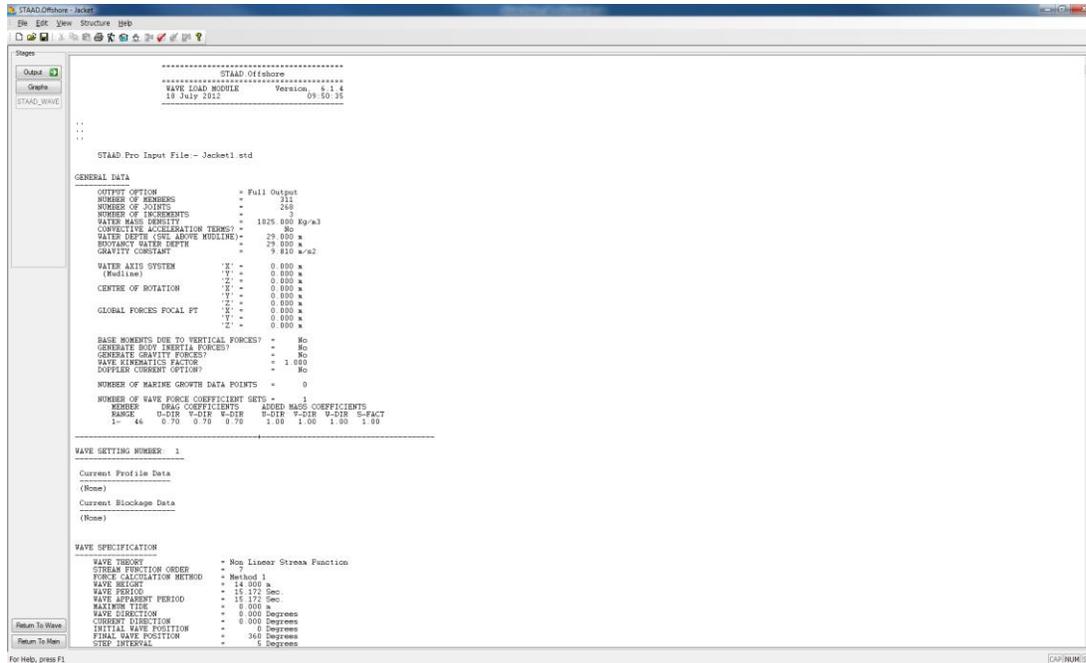


Abbildung 34: Textdatei eines simulierten Jackets mit der Stream Function 7th

Diese Daten können dann mithilfe der Kopierfunktion in ein grafikfähiges Programm übermittelt werden. Durch die übersichtliche Sortierung der Daten, kann die ermittelte Welle oder die Belastungen in x- und z-Richtung dargestellt werden. Es ist außerdem möglich die ermittelten Wellenbelastungen in STAAD.Pro zu transferieren um dort an der kompletten Struktur die Belastungen zur jeweiligen Wellenposition darzustellen (vgl. Abbildung 45).

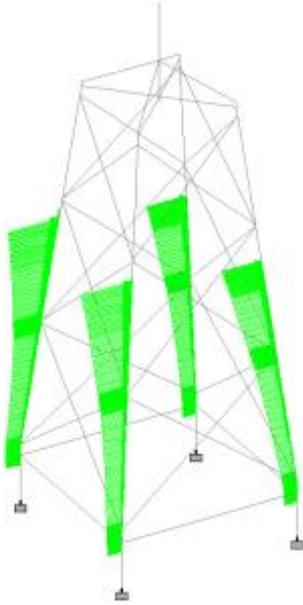


Abbildung 45: In STAAD.Pro geladenes Jacket nach Berechnung der Wellenlasten in STAAD.Offshore

Simulation der Wellenlasten

Damit ein Vergleich der verschiedenen Wellentheorien stattfinden kann, werden zunächst die Konstanten festgelegt:

Wassertiefe:	29,00m
Wasserdichte:	1025kg/m ³
Erdbeschleunigung:	9,81m/s ²
Wellenposition:	5°-Schritte von 0°-360°
C _d :	0,7 – 1,2
C _m :	1,2 – 2,0
Strömung:	0m – 8m = 1,5m/s
	8m – 29m = 1,0m/s

Diese Werte werden während der Berechnungen nicht verändert, damit ein vergleichbares Ergebnis berechnet wird. Für gewöhnlich werden Wellentheorien auf eine 50-Jahres Welle, wie in Tab. 2 gezeigt, bezogen. Für den direkten Vergleich der Wellentheorien bedarf es jedoch verschiedener signifikanter Wellenhöhen und dadurch bedingt unterschiedlicher Wellenperioden. Abbildung 5 zeigt die jeweiligen Bereiche, in denen bestimmte Wellentheorien zur Berechnung benutzt werden können.

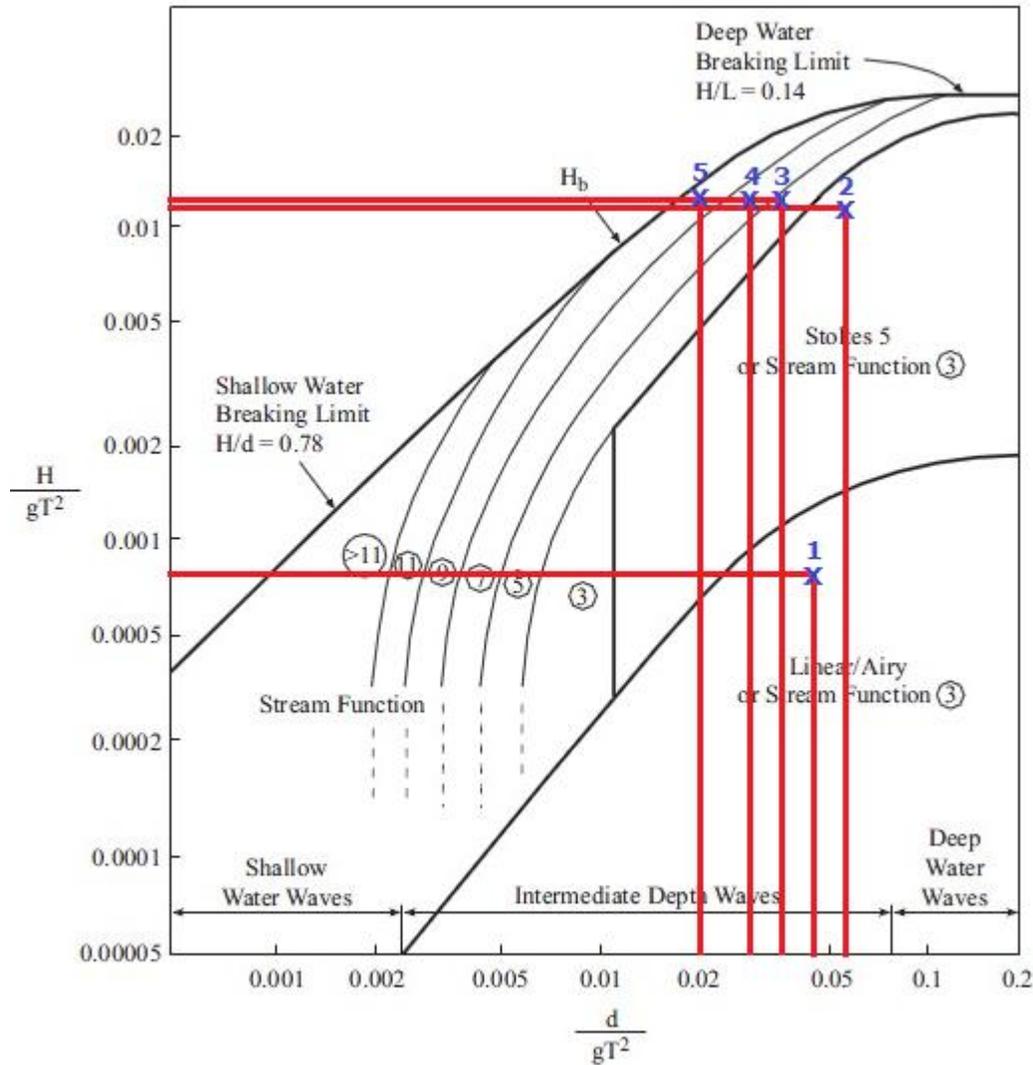


Abbildung 56: Wellentheorie-Diagramm (vgl. mit Punkten in Tabelle 3) (17)

Dieses Diagramm zeigt, dass es für die Punkte der jeweiligen Wellentheorie jeweils nur eine Variable gibt (T, H). Damit Wellen mit den Theorien Airy, Stokes 5 und Stream Function 3, 5, 7 und 9 simuliert werden können, bedarf es einer Annäherung der Wellenhöhe und der Wellenperiode mit:

$$\frac{H}{g * T^2} ; \frac{d}{g * T^2} \quad (16)$$

Formel 2: Berechnungen für die X- und Y-Abschnitte des Wellentheorie-Diagramms

- H: Wellenhöhe
- T: Wellenperiode
- d: Wassertiefe
- g: Erdbeschleunigung

Das Ermitteln der Wellenperiode und der passenden Wellenhöhe wird im späteren Verlauf erläutert, folgende Parameter werden jedoch im Voraus für die Theorien benutzt (vgl. Punkte in Abbildung 5):

Tabelle 3: Berechnung der Bemessungswellenperiode T (vgl. Punkte in Abbildung 5)

	H [m]	H _{s,50} [m]	d [m]	T _{Durchschnitt} [s]	d/g*T ²	H/g*T ²	Punkte
Airy	0,50	0,27	29,00	8,00	0,0462	0,0008	1
Stream Function 3	0,50	0,27	29,00	8,00	0,0462	0,0008	1
Stokes 5	6,00	3,23	29,00	7,28	0,0557	0,0115	2
Stream Function 3	6,00	3,23	29,00	7,28	0,0557	0,0115	2
Stream Function 5	9,00	4,84	29,00	8,92	0,0370	0,0120	3
Stream Function 7	12,00	6,45	29,00	10,30	0,0280	0,0120	4
Stream Function 9	16,50	8,87	29,00	12,08	0,0200	0,0120	5

Vergleich der Wellenlasten

Nachdem die Bemessungswellenperioden für einen direkten Vergleich zwischen der linearen Wellentheorie Airy und Stream Function 3 angepasst sind (vgl. Tabelle 5), folgt das einlesen der Wellenparameter in STAAD.Offshore. Die Daten werden, wie anfangs aufgelistet, in die vier verschiedenen Eingabemasken (vgl. Abbildung 2) eingetragen. Lediglich der korrigierte T-Wert wird mit 8,0s neu definiert. Durch drücken des Run-Buttons berechnet STAAD.Offshore vorerst nur die Wellenlasten der Airy-Theorie an dem geladenen Jacket:

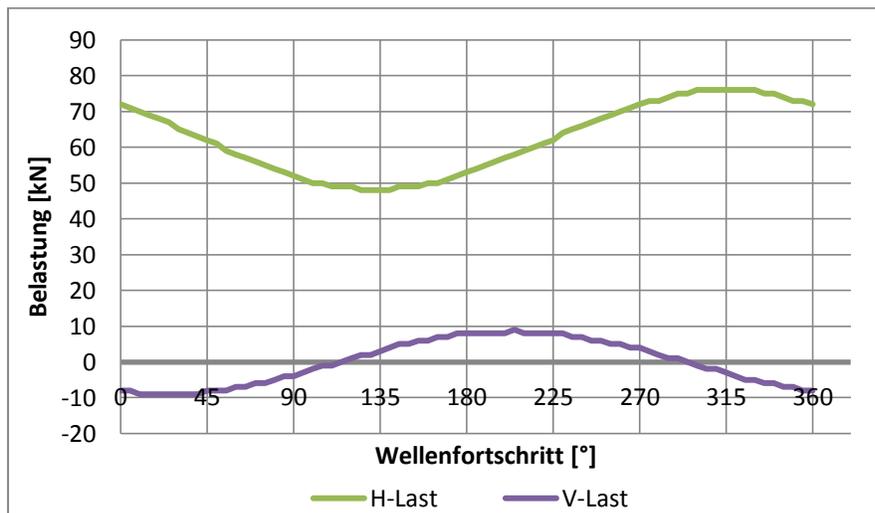


Abbildung 67: Horizontale und Vertikale Lasten an einem Jacket mit Strömung

Die in Abbildung 77 aufgezeigten horizontalen (grün) und vertikalen (lila) Lasten beschreiben die Wellenlasten, welche in x- und y-Richtung auf das Jacket treffen.

Aufgrund der geforderten Wellenlasten, wird im Vergleich eine erneute Berechnung nach der Airy-Theorie gestartet, jedoch ohne die Eingabe der Strömungsgeschwindigkeiten:

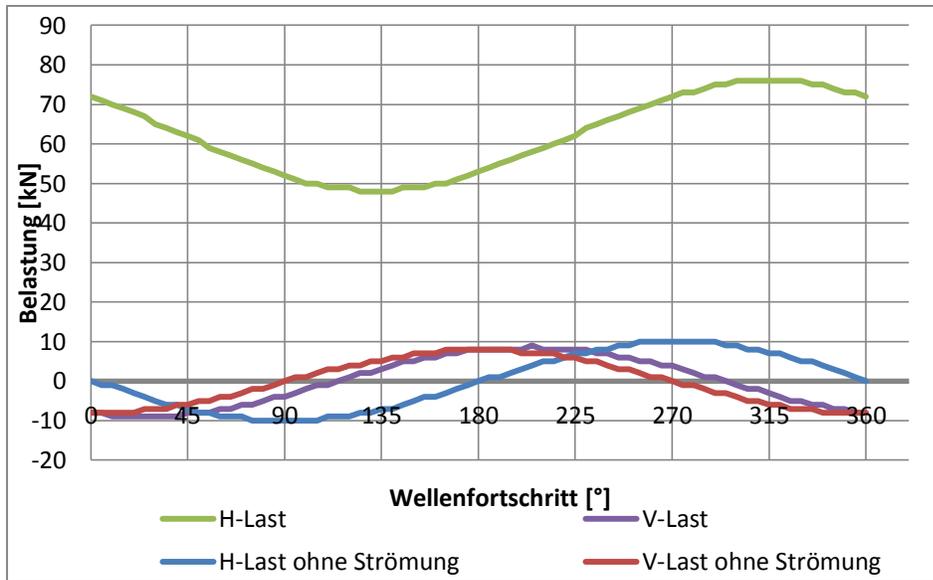


Abbildung 78: Vergleich der Wellenlasten an einem Jacket mit und ohne Strömung

Der Vergleich zwischen Wellenlasten und Strömungslasten zeigt deutlich, dass die berechneten Wellen mit einer Höhe von 0,5m weit unter den Lasten der Strömung liegen. Die vertikalen Lasten sind denen der Strömung relativ ähnlich. Lediglich die horizontalen Strömungslasten übersteigen die Belastungen durch die Welle um ein vielfaches. Um im Folgenden die verschiedenen Theorien und die reinen Wellenlasten miteinander zu vergleichen, werden die Strömungslasten bei späteren Kalkulationen vernachlässigt. Abbildung 78 zeigt deutlich, dass es bei geringen Wellenhöhen zu einer Fehlinterpretation durch die stärkere Strömung kommt.

Die Auswertung der Stream Function 3 beruht auf denselben Eingabeparametern. Vor der Berechnung wird die zu betrachtende Wellentheorie lediglich auf Stream Function 3 geändert. Abbildung 89 zeigt die simulierten H- und V-Lasten:

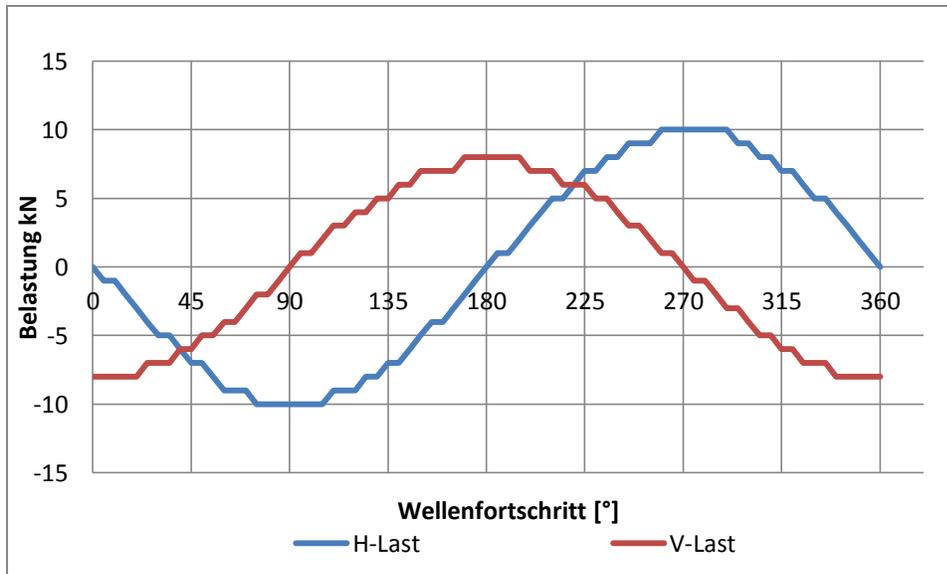


Abbildung 8: Simulierte H-, und V-Lasten an einem Jacket mit der Stream Function 3

Im Vergleich mit Abbildung 78 scheinen die Lasten der Stream Function 3 aufgrund der zusätzlich aufgezeigten Strömungslasten nicht der Airy-Theorie zu gleichen. Werden die beiden Diagramme zu einem zusammengeführt, wird die Analogie erkennbar:

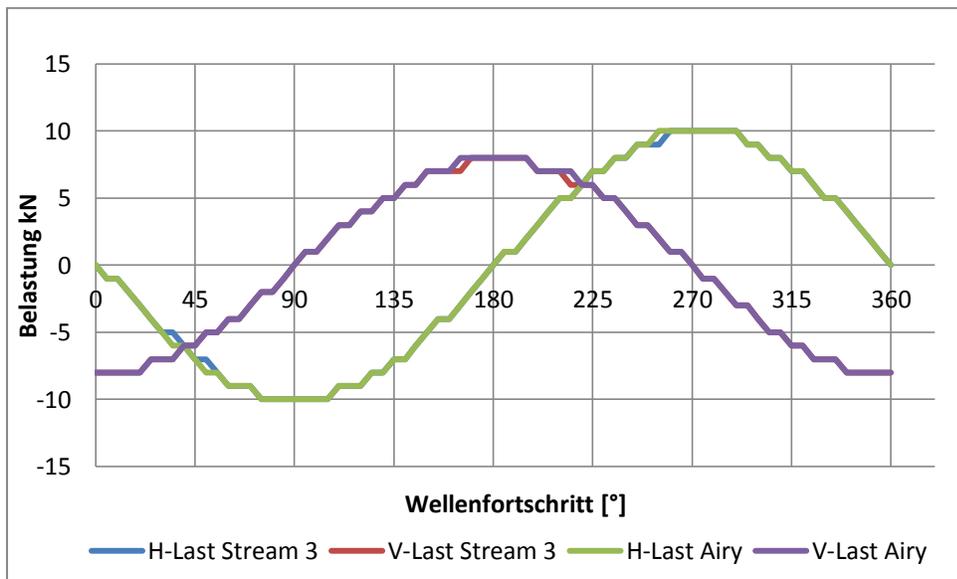


Abbildung 30: Simulierte H- und V-Lasten an einem Jacket mit der Stream Function 3 und lineare Wellentheorie nach Airy

Abbildung 30 bestätigt die durchgeführten Simulationen mit der linearen Wellentheorie nach Airy und der Stream Function 3. Die Datenreihen unterscheiden sich in der Summe um 1 – 2kN. Verglichen mit der Last, die pro Welle in x- und y-Richtung wirkt, entsteht eine Abweichung von nur 0,60 %. Diese geringe Abweichung zeigt, dass beide Theorien durchaus für eine Berechnung genutzt werden können. Anschließend werden die simulierten Daten in STAAD.Pro extrahiert um die direkten Belastungen am Jacket zu erkennen:

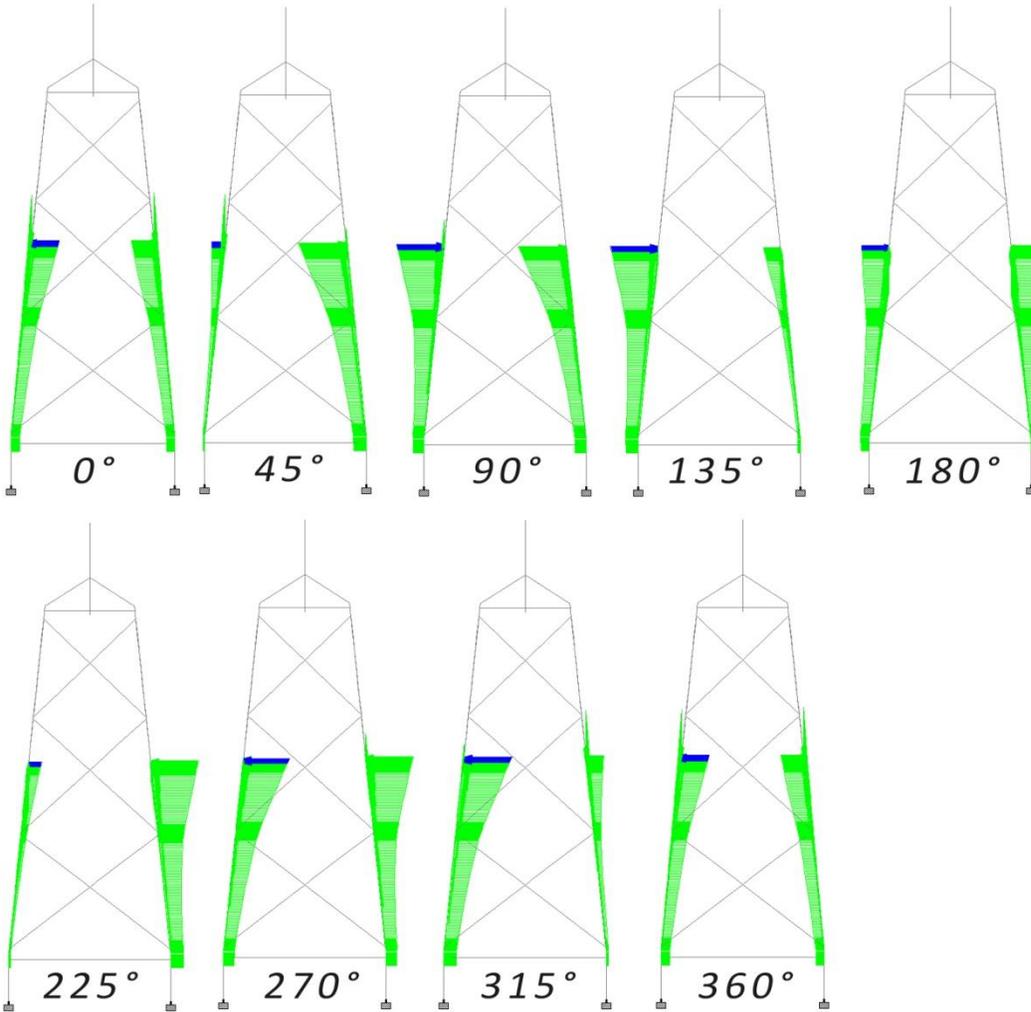


Abbildung 31: Simulation der Belastungen an einem Jacket von 0° - 360°

Abbildung 531 zeigt, dass auch bei einem höheren y-Achsenabschnitt zwei Theorien genutzt werden können. Die in Tabelle 5 gezeigten Parameter werden aufgrund der Analogie zu anderen Wellentheorien nicht erneut beschrieben. Es wird lediglich ein neues T bestimmt und mit den bekannten Parametern in $\frac{H}{g \cdot T^2}$ und $\frac{d}{g \cdot T^2}$ eingesetzt. Die Wellenhöhe wird entsprechend auf 6m angepasst, da sonst ein Erreichen der 5. Stokes Gleichung und der Stream Function 3 im gleichen Punkt nicht möglich ist.

$$T_{\min} = 6,37s$$

$$T_{\max} = 8,20s$$

$$H = 6m$$

$$H_{s,50} = 3,23m$$

$$\frac{H}{g \cdot T_{\min; \max}^2} \rightarrow \text{mit } T_{\min} = 0,015 ; \text{ mit } T_{\max} = 0,009$$

$$\frac{d}{g * T_{min,max}^2} \rightarrow \text{mit } T_{min} = 0,073 ; \text{mit } T_{max} = 0,044$$

Für einen übersichtlichen Vergleich werden die Durchschnittswerte der vier Ergebnisse ermittelt:

$$\frac{H}{g * T_{Durchschnitt}^2} = 0,012$$

$$\frac{d}{g * T_{Durchschnitt}^2} = 0,059$$

Mit Hilfe dieser Parameter kann eine erneute Simulation mit STAAD.Offshore gestartet werden. Abbildung32 zeigt, dass diese Wellentheorien ein ebenfalls analoges Ergebnis berechnen. Die Abweichung der Wellenlasten beträgt bei dieser Kalkulation nur 0,018 %. Durch die 12-fache Zunahme der Wellenhöhe kommt es zu deutlich stärkeren Lasten, sowohl in der x-, als auch in der y-Komponente. In der Summe belastet die 6m Welle das Jacket um das 13-fache mehr, als die 0,5m Welle.

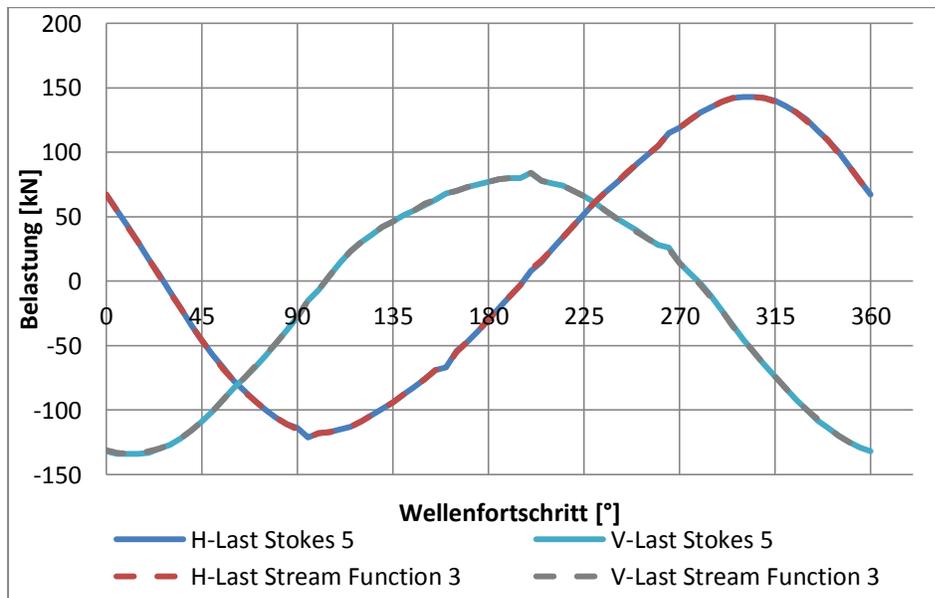


Abbildung 32: Simulierte Wellenlasten mit der 5. Stokes Theorie und Stream Function 3

Aufgrund der vielen Simulationsmöglichkeiten mit STAAD.Offshore werden 3 weitere Theorien getestet, können jedoch nicht mit den vorangegangenen verglichen werden. Stream Function 5, 7 und 9 sind in Abbildung3 abgebildet. Dass ein direkter Vergleich der Wellentheorien nicht möglich ist, zeigt Abbildung 5. Die Punkte in diesem Wellentheorie Diagramm sind jedoch dicht beieinander gewählt:

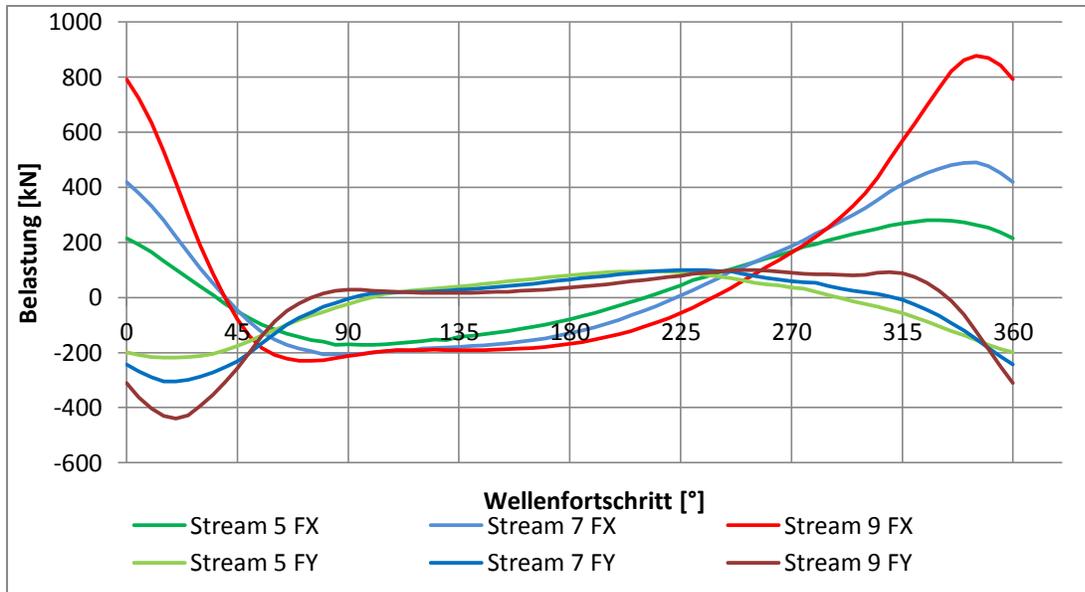


Abbildung 33: H- und V-Lasten der Stream Function 5, 7 und 9

Es wird deutlich, dass die Belastung des Jackets enorm steigt, die Lastverläufe jedoch ähnlich sind. Dass Wellentheorien nicht in den dafür vorgesehenen Diagrammbereichen anwendbar sind, wird im folgenden Diagramm deutlich. Hierfür wird die Stream Function 9 mit der linearen Wellentheorie Airy und den Parametern $T = 12,08s$ und $H = 16,5m$ verglichen.

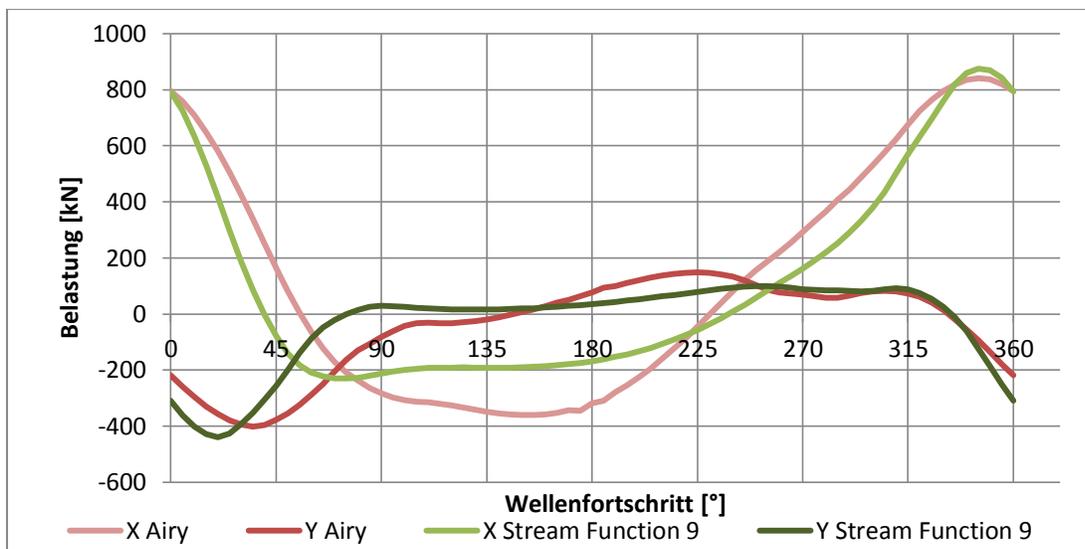


Abbildung 94: Beweis der Inkongruenz zweier Wellentheorien, welche nicht im selben Diagrammbereich liegen

Abbildung 94 zeigt die Inkongruenz, welche bei Nichteinhaltung der vorgeschriebenen Diagrammbereiche entsteht. Dieser Unterschied beträgt in der Summe der H- und V-Lasten eine Kraft von 7912kN. Die Airy Theorie erzielt somit eine stärkere Belastung von insgesamt 21,49 %. Eine sehr viel höher kalkulierte Last zieht in der Konstruktionsberechnung eine sehr viel höhere Wandstärke und

dadurch bedingt sehr viel höheren Materialverbrauch mit sich. Das Problem dieser Überkalkulierung soll im späteren Verlauf kurz betrachtet werden.

Erhöhte Belastung durch marinen Bewuchs an einer Jacketstruktur

Aufgrund der vorherigen Berechnungen wird im Folgenden der Einfluss des marinen Bewuchses betrachtet. Gemäß dem GL 2008 ist der marine Bewuchs entweder den lokalen Erfahrungen zu entnehmen, oder, wenn keine relevanten Daten vorhanden sind, muss ein Mindestmaß an Bewuchs von 50mm angenommen werden. Aufgrund der im Forschungsvorhaben ermittelten Bewuchsdicken, basieren die Daten der folgenden Berechnungen auf den bereits aufgezeigten Werten:

0,0m – 4,0m → 0,08m

4,0m – 10,0m → 0,04m

10,0m – 29,0m → 0,02m

Betrachtet werden die zusätzlichen Lasten, welche durch den erhöhten Durchmesser entstehen (in grün dargestellte Kurven):

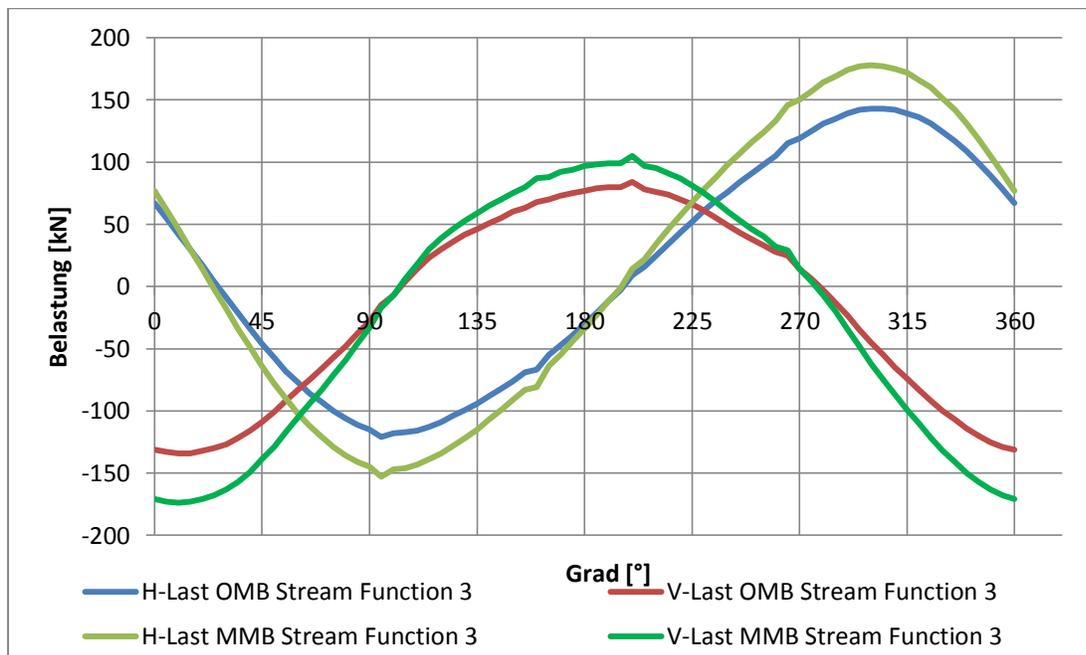


Abbildung 105: Vergleich der H- und V-Lasten unter Einfluss marinen Bewuchses (Stream Function 3)

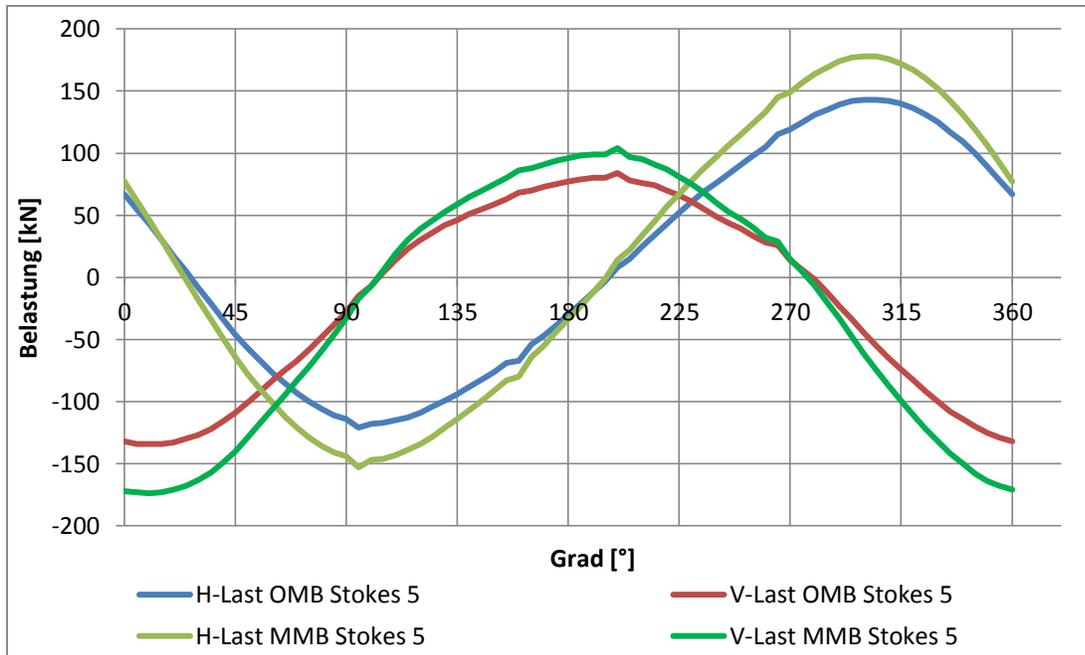


Abbildung 116: Vergleich der H- und V-Lasten unter Einfluss marinen Bewuchses (Stokes 5)

Abbildung 10 und Abbildung 11 zeigen die zum einen bereits in Abbildung 32 simulierten Belastungen an einem Jacket mit der Stream Function 3 und der Stokes 5 Theorie, zum anderen werden die zusätzlichen Belastungen durch die grünen Kurven dargestellt. Tabelle 4 zeigt die Differenz der Lasten, welche durch den marinen Bewuchs zusätzlich entstehen. Auffällig dabei ist die gleichmäßige Abnahme der Stream Function Theorien 3, 5, 7 und 9 um jeweils ca. 2 %, welche ebenfalls simuliert wurden.

Tabelle 4: Vergleich der Lasten unter Einfluss von marinem Bewuchs

Theorie	OMB [kN]	MMB [kN]	Differenz [%]
Stream Function 3	10922	13753	20,58
Stream Function 5	16890	20643	18,18
Stream Function 7	22163	26501	16,37
Stream Function 9	28905	33873	14,67
Airy	836	1059	21,06
Stokes 5	10924	13755	20,58

Berechnung der Wellenlasten nach Morison

Bei der Umspülung eines Zylinders durch Wellen entstehen Wirbelströme. Diese Wirbelströme sind mathematische sehr schwer zu beschreiben und es müsste eine nicht-lineare Theorie genutzt werden. Versuche von Morison haben jedoch gezeigt, dass die Zugkraft f_D pro Längeneinheit wie folgt angenähert werden kann:

$$f_D = \frac{1}{2} * \rho * C_D * D * u * |u| \quad (15)$$

Formel 3: Annäherung der Zugkraft f_D

$$\frac{kg}{m^3} * m * \frac{m}{s} * \frac{m}{s} \rightarrow \frac{kgm}{s^2} * \frac{1}{m} \rightarrow \frac{N}{m}$$

Die Einheitenbetrachtung zeigt, dass es sich nicht um eine Last über den ganzen Körper handelt, sondern diese Kraft pro Längeneinheit gilt. Weil die Partikelgeschwindigkeit über die Tiefe variiert, wird f_D ebenso variieren. Damit die Belastung über den ganzen eingetauchten Zylinder zu jedem Zeitpunkt betrachtet werden kann, wird f_D integriert:

$$F_D(t) = \int_{-d}^{Oberfläche} f_D(z, t) dz \quad (15)$$

Formel 4: Integration von f_D

Die maximale Kraft liegt an, wenn die Wasseroberfläche ihr Maximum erreicht:

$$F_D(t)_{max} = \int_{-d}^{max\,Oberfläche} f_D(z, t) dz \quad (15)$$

Formel 5: Festlegung der Grenzen auf den maximalen Wert

Diese Berechnung wird am Beispiel des OWP Alpha Ventus durchgeführt. Folgendes Szenario wird für die Kalkulation gewählt (basierend auf dem Lastenheft von WW):

- Wellenamplitude $\xi = 8,25m$
- Wellenhöhe $2\xi = H = H_{max} = 16,5m$
- Wassertiefe $d = 29m$
- Wellenlänge $L = 126,03m$
- Zylinder Durchmesser $D = 0,914m$
- Signifikante Wellenhöhe $H_s = \frac{H_{max}}{1,86}$

Um welche Wassertiefe handelt es sich?

Shallow Water:
$$\frac{d}{L} < 1/20$$

Intermediate Water:
$$\frac{1}{20} < \frac{d}{L} < \frac{1}{2}$$

Deepwater
$$\frac{d}{L} > \frac{1}{2}$$

$$\frac{d}{L} = \frac{29\text{m}}{126,03\text{m}} = 0,23 < \frac{1}{2}$$

Formel 6: Wassertiefensituation (15)

Das Verhältnis von Wassertiefe zu Wellenlänge zeigt, dass es sich um Intermediate Water handelt. Anschließend wird die Wellenperiode berechnet:

$$11,1 * \sqrt{\frac{H_{s50}}{g}} \leq T \leq 14,3 * \sqrt{\frac{H_{s50}}{g}} \quad (19)$$

Formel 7: Bestimmung der Wellenperiode

Um T_{\min} und T_{\max} zu bestimmen, muss die signifikante Wellenhöhe berechnet werden:

$$H_s = \frac{H_{\max}}{1,86} = \frac{16,5\text{m}}{1,86} = 8,87\text{m} \quad (19)$$

Formel 8: Bestimmung der signifikanten Wellenhöhe

$$11,1 * \sqrt{\frac{8,87\text{m}}{9,81\text{m/s}^2}} \leq T \leq 14,3 * \sqrt{\frac{8,87\text{m}}{9,81\text{m/s}^2}}$$

$$\underline{10,55\text{s} \leq T \leq 13,6\text{s}}$$

$$\frac{(T_{\min} + T_{\max})}{2} = \underline{12,07\text{s}}$$

Aufgrund der starken Strömungen, welche bspw. in der Nordsee mit bis zu 1,5m/s vorherrschen, wird Massenträgheitskraft eingeführt. Bei realen Zylindern, welche die Voraussetzung $D/L < 1/5$ erfüllen, wird das Wasser um den Zylinder herum gedrückt. Die dadurch entstehende Zusatzmasse, wird zusätzlich beschleunigt. Diese extra auf den Zylinder wirkende Last pro Längeneinheit wird wie folgt berechnet:

$$f_M = (m + m_A) * \dot{u} = \left(\rho * \frac{\pi * D^2}{4} \right) * C_M * \dot{u} \quad (15)$$

Formel 9: Kalkulation von f_M

Hier bezeichnet m_A die zusätzliche Masse und C_M den im späteren Verlauf berechneten dimensionslosen Massekoeffizient. Die anderen Terme sind dieselben wie bei der Zugkraft. Wenn nun Wellen auf den Zylinder einwirken, erfährt dieser Kombinationen von Geschwindigkeiten und Beschleunigungen durch Wasserpartikel. Wenn alle Voraussetzungen für f_D und f_M können die Belastungen durch die Morison-Gleichung beschrieben werden:

$$f(z, t) = f_M + f_D = \frac{\pi * D^2}{4} * \rho * C_M * \dot{u} + \frac{1}{2} * \rho * C_D * D * u * |u| \quad (15)$$

Formel 10: Morison Gleichung

Diese Morison-Gleichung basiert auf Experimenten und stellt derzeit nur die Summe der Massenkkräfte und Zugkräfte dar. Für die, über den gesamten Zylinder vorliegende Last, wird wie folgt integriert:

$$F(t) = \int_{-d}^{\text{Oberfläche}} f(z, t) dz = \int_{-d}^{\xi} f_M(z, t) dz + \int_{-d}^{\xi} f_D(z, t) dz \quad (15)$$

Formel 11: Integration der Morison Gleichung

Unter dem Wellenkamm, wenn die Welle ihren höchsten Punkt erreicht, ist die Partikelbeschleunigung $\dot{u} = 0$ und $f_M(z, t) = 0$. Die gesamte Kraft berechnet sich dann durch:

$$F(t) = \int_{-d}^{\xi_0} f_D(z, t) dz \quad (15)$$

Formel 12: Betrachtung bei maximaler Partikelbeschleunigung (f_D)

Wenn die Welle den Ruhewasserspiegel kreuzt, ist die Partikelgeschwindigkeit $u = 0$ und

$f_D(z, t) = 0$. Die gesamte Kraft berechnet sich dann durch:

$$F(t) = \int_{-d}^0 f_M(z, t) dz \quad (15)$$

Formel 13: Betrachtung bei maximaler Beschleunigung (f_M)

Damit die Morison-Gleichung genutzt werden kann, müssen folgende Regeln beachtet werden (15):

- $H/L < 0,14$ -> für eine nichtbrechende Welle
- $D/L < 0,2$
- $a/D < 0,2$

$$\frac{H}{L} = \frac{16,5}{126,03} = 0,13 < 0,14 \rightarrow \text{Gültig}$$

$$\frac{D}{L} = \frac{0,914}{126,03} = 0,0073 < 0,2 \rightarrow \text{Gültig}$$

$$\frac{a}{D} = \frac{8,25}{0,914} = 9,03 > 0,2 \rightarrow \text{Ungültig}$$

Formel 14: Regeln für die Erfüllung der Morison Gleichung

Der Test zeigt, dass es bei der Morison-Gleichung nicht möglich ist, extreme Wellenhöhen zu berechnen. Damit der Vergleich mit den Simulationen jedoch stattfinden kann, muss diese angepasst werden. Damit $\frac{a}{D} < 0,2$ bleibt, wird eine Amplitude von $a = 0,18$ angenommen. Damit sinkt jedoch die zu betrachtende Welle auf $H = 0,36m$. Aufgrund der verschwindend geringen Wellenhöhe, werden im späteren Verlauf dennoch höhere Wellen berechnet und der Durchmesser des Zylinders dementsprechend angepasst:

D: 2m, 6m (ebenfalls typische Durchmesser aktueller GS)

$H_{D=2m}$: 0,8m

$H_{D=6m}$: 2,4m

Durch das Bestimmen aller nötigen Parameter können nun die geforderten Wellenlasten berechnet werden. Dazu wird nach einem immer gleichen Prinzip verfahren:

- Berechnung der maximalen horizontalen Partikelgeschwindigkeit u
- Berechnung der maximalen horizontalen Partikelbeschleunigung \dot{u}
- Bestimmen der C_D - und C_M -Werte
- Berechnung der maximalen Last am Zylinder

Maximale horizontale Partikelgeschwindigkeit

$$u_{K,max} = \frac{\xi * k * g}{\omega} * \frac{\cosh(k(z+d))}{\cosh(k*d)}$$

$$u_{K,max} = \frac{\xi * \left(\frac{2 * \pi}{L_K}\right) * g}{\left(\frac{2 * \pi}{T_K}\right)} * \frac{\cosh\left(\left(\frac{2 * \pi}{L_K}\right)(z+d)\right)}{\cosh\left(\left(\frac{2 * \pi}{L_K}\right) * d\right)}$$

$$= \frac{\xi * T_K * g}{L_K} * \frac{\cosh\left(\left(\frac{2 * \pi}{L_K}\right)(z+d)\right)}{\cosh\left(\left(\frac{2 * \pi}{L_K}\right) * d\right)}$$

Formel 15: Kalkulation der maximalen Partikelgeschwindigkeit (17)

Aufgrund der neuen Wellenhöhe, entsteht einhergehend auch eine neue Wellenperiode:

$$H_s = \frac{H_{max}}{1,86} = \frac{0,36m}{1,86} = 0,19m$$

$$11,1 * \sqrt{\frac{0,19m}{9,81m/s^2}} \leq T \leq 14,3 * \sqrt{\frac{0,19m}{9,81m/s^2}}$$

$$\underline{1,54s \leq T \leq 2,0s}$$

$$\frac{(T_{min} + T_{max})}{2} = \underline{1,77s}$$

Dieses neue T wird zur Berechnung von $u_{k,max}$ benötigt:

$$u_{k,max} = \frac{0,18m * 1,77s * \frac{9,81m}{s^2}}{126,03m} * \frac{\cosh\left(\left(\frac{2 * \pi}{126,03m}\right)(z + 29,0m)\right)}{\cosh\left(\left(\frac{2 * \pi}{126,03m}\right) * 29,0m\right)}$$

Für die maximale Partikelgeschwindigkeit muss z gleich der maximalen Wellenamplitude gesetzt werden, weil am obersten Punkt der Welle die maximale Partikelgeschwindigkeit herrscht.

$$u_{K,max}(z = 0,18) = \frac{0,18m * 1,77s * \frac{9,81m}{s^2}}{126,03m} * \frac{\cosh\left(\left(\frac{2 * \pi}{126,03m}\right)(0,18 + 29,0m)\right)}{\cosh\left(\left(\frac{2 * \pi}{126,03m}\right) * 29,0m\right)} = \underline{0,025 \frac{m}{s}}$$

Maximale horizontale Partikelbeschleunigung

$$\dot{u}_K = \xi * k * g * \frac{\cosh(k(z + d))}{\cosh(k * d)}$$

$$\dot{u}_K = \xi * \frac{2 * \pi}{L_K} * g * \frac{\cosh\left(\frac{2 * \pi}{L_K}(z + d)\right)}{\cosh\left(\frac{2 * \pi}{L_K} * d\right)}$$

Formel 16: Kalkulation der maximalen Partikelbeschleunigung (17)

$$= 0,18m * \frac{2 * \pi}{126,03m} * 9,81 \frac{m}{s^2} * \frac{\cosh\left(\frac{2 * \pi}{126,03m} * (z + 29,0m)\right)}{\cosh\left(\frac{2 * \pi}{126,03m} * 29,0m\right)}$$

Für die maximale Partikelbeschleunigung wird z = 0m gesetzt, weil die Welle im Schnittpunkt der Wellenamplitude bei dem Nulldurchgang die höchste Beschleunigung besitzt.

$$\dot{u}_K(z=0) = 0,18m * \frac{2 * \pi}{126,03m} * 9,81 \frac{m}{s^2} * \frac{\cosh\left(\frac{2 * \pi}{126,03m} * (0m + 29,0m)\right)}{\cosh\left(\frac{2 * \pi}{126,03m} * 29,0m\right)} = \underline{\underline{0,088 \frac{m}{s^2}}}$$

Bestimmen des C_D- und C_M-Werts

Für die Bestimmung der C_D- und C_M-Parameter muss nach dem GL 2008 zwischen glattem und rauem Zylinder unterschieden und nach der Höhe der Reynoldszahl entschieden werden. Diese wird für einen Zylinder wie folgt berechnet:

$$Re = u_{k,max} * \frac{D}{\nu} = 0,025 \frac{m}{s} * \frac{0,914m}{1,2 * \frac{10^{-6}m^2}{s}} = \underline{\underline{19041,67}} \quad (17)$$

Formel 17: Berechnung der Reynoldszahl

mit:

u _{max}	=	maximale Partikelgeschwindigkeit [m/s]
D	=	Durchmesser des Zylinders [m]
ν	=	kinematische Viskosität [m ² /s]

Die Entscheidung, ob ein Zylinder glatt oder rau ist, wird durch folgende Gleichung vorgegeben:

$$e = \frac{k_m}{D} \quad (20)$$

Formel 18: Überprüfung der Rauigkeit eines Zylinders

mit:

e	=	relative Oberflächenrauigkeit
k _m	=	Durchschnittliche Dicke des harten marinen Bewuchses [m]
D	=	Durchmesser des Zylinders [m]

Für die Berechnung wird vorerst das Verhältnis von k zu D geprüft. Liegt dieser Wert unter 1/1000, handelt es sich um einen glatten Zylinder. Alle Werte ≥ 1/1000 bedeuten, dass es sich um einen Zylinder mit rauher Oberfläche handelt.

$$e = \frac{0,08m}{0,914} = 0,088 > \underline{\underline{\frac{1}{1000}}}$$

Anhand dieser ermittelten Daten können in Tabelle 5 gültige C_D - und C_M -Wert abgelesen werden:

Tabelle 5: Indikative hydrodynamische Koeffizienten für zylindrische Bauteile

Reynoldszahl	glatter Zylinder		rauer Zylinder	
	C_D	C_M	C_D	C_M
$\leq 2 \cdot 10^5$	1,2	2,0	1,2	2,0
$> 2 \cdot 10^5$	0,7	1,6	1,1	2,0

$C_D \rightarrow$ Drag coefficient (1,2 wird angenommen)

$C_M \rightarrow$ Mass coefficient (2,0 wird angenommen)

Durch diese getroffene Annahme ist der ungünstigste Zustand des Wassers angenommen.

$$F(t)_{\max} = \int_{-d}^{\xi} \frac{\rho}{2} * C_D * D * u_k^2 + C_M * \rho * \frac{\pi * D^2}{4} * u_k dz \quad (15)$$

Formel 19: maximale Lastenberechnung nach Morison

Zur Berechnung der maximalen Last wird im Anschluss der Durchmesser um den marinen Bewuchs erweitert. Dieser erhöht sich durch 0,08 m auf einen zusätzlichen Durchmesser von 0,16m und beläuft sich in folgenden Berechnungen auf 1,074 m.

$$F(t)_{\max} = \int_{-29,0m}^{0,18m} \frac{1025,0 \frac{kg}{m^3}}{2} * 1,2 * 1,074m * \frac{0,025^2 m^2}{s^2} + 2,0 * \frac{1025kg}{m^3} * \frac{\pi * 1,074^2 m^2}{4} * \frac{0,088m}{s^2} dz$$

$$= \underline{4768,92N}$$

Aufgrund der Annahme eines Monopiles, muss die Last weiterhin auf 4 Jacketbeine erweitert werden. Folglich multipliziert sich die Gesamtlast um das Vierfache:

$$F(t)_{\text{ges}} = 4 * F(t)_{\max} = 4 * 4768,92N = 19075,68N = \underline{19,08kN}$$

Wie in Tab. 2 ersichtlich, werden jeweils zwei Wellenlängen genutzt, um einen möglichst großen Belastungsbereich abzudecken. Diese Berechnungen beruhen auf demselben Verfahren, wie es bereits beschrieben wurde. Die Wellenlänge entsteht durch die Simulation von STAAD.Offshore.

Aufgrund der maximalen Wellenhöhe von 0,18 m, ist die Berechnung einer zweiten Welle nicht sinnvoll. Die Voraussetzung von $a/D < 0,2$ ist bereits durch den ersten Berechnungsvorgang am Maximum. Um ein Verhältnis von Durchmesser und Amplitude zu erhalten, sind mit Hilfe von $a/D < 0,2$ und den erhöhten Durchmessern von 2m und 6m neue maximale Wellenhöhen ermittelt worden:

$$a < 0,2 * D = 0,2 * 2m < 0,4m$$

$$H_{D=2m}: \quad 0,8m$$

Bei einem Durchmesser von 2 m ist bei den Konstruktionen mit Verstärkungen zu rechnen. Aus diesem Grund wird $a = 0,4m$ statt $a < 0,4m$ gewählt. Selbiges gilt für die Berechnung von $D = 6 m$:

$$a < 0,2 * D = 0,2 * 6m < 1,2m$$

$$H_{D=6m}: \quad 2,4m$$

Für die neu kalkulierten Wellenhöhen, ergeben sich folgende Parameter:

Tabelle 6: Wellenparameter der 0,8m und 2,4m Welle

	Bei H = 0,8	Bei H = 2,4
T [s]	2,66	4,61
u [m/s]	0,08	0,45
\ddot{u} [m/s ²]	0,20	0,59

Die C_D - und C_M -Werte werden ebenfalls für $H=0,8m$ kontrolliert:

$$Re = u_{max} * \frac{D}{\nu} = 0,084 \frac{m}{s} * \frac{2m}{1,2 * \frac{10^{-6}m^2}{s}} = \underline{140000} = 1,4 * 10^5$$

Verglichen mit der Tabelle 5 bleibt es bei den Werten $C_D = 1,2$ und $C_M = 2,0$

Für $H = 2,4m$ ergeben sich folgende Werte:

$$Re = u_{max} * \frac{D}{\nu} = 0,45 \frac{m}{s} * \frac{6m}{1,2 * \frac{10^{-6}m^2}{s}} = \underline{2000000} = 2 * 10^6$$

Tabelle 5 zeigt, dass es bei einer Reynoldszahl $> 2 * 10^5$ zu einer Änderung der Parameter von

$$C_D: \quad 1,1$$

$$C_M: \quad 2,0$$

kommt. Mit Hilfe dieser bestimmten Parameter werden nun wie im ersten Rechenbeispiel die Lasten über den ganzen Zylinder berechnet:

$$T: \quad 2,66s$$

$$F(t)_{max} = \int_{-29,0m}^{0,4m} \frac{1025,0 \frac{kg}{m^3}}{2} * 1,2 * 2,16m * \frac{0,08^2 m^2}{s^2} + 2,0 * \frac{1025kg}{m^3} * \frac{\pi * 2,16^2 m^2}{4} * \frac{0,26m}{s^2} dz$$

$$= \underline{57421,2N}$$

$$F(t)_{ges} = 4 * F(t)_{max} = 4 * 57421,2N = 229684,8N = \underline{229,7kN}$$

Und für $H = 2,4m$ mit einem $C_D = 1,1$:

T: 4,61s

$$F(t)_{\max} = \int_{-29,0\text{m}}^{1,2\text{m}} \frac{1025,0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{2} * 1,1 * 6,16\text{m} * \frac{0,45^2\text{m}^2}{\text{s}^2} + 2,0 * \frac{1025\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{\pi * 6,16^2\text{m}^2}{4} * \frac{0,59\text{m}}{\text{s}^2} dz$$

$$= \underline{1109830\text{N}}$$

$$F(t)_{\text{ges}} = 4 * F(t)_{\max} = 4 * 1109830\text{N} = 4439320\text{N} = \underline{4439,32\text{kN}}$$

Vorangegangene Berechnungen sind mit einem durchgehenden marinen Bewuchs von 0,08m kalkuliert. Für den direkten Vergleich, welche zusätzlichen Lasten bei einem Jacket oder einem Zylinder entstehen, sind oben aufgeführte Berechnungsschritte erneut ausgeführt und dem Durchmesser entsprechend angepasst worden:

Tabelle 7: Vergleich der Belastung an einem Jacket mit und ohne Bewuchs

H [m]	F(t) _{max} OMB [N]	F(t) _{max} MMB [N]	Differenz [%]	Durchmesser [m]
0,36	13856,44	19075,68	37,67	0,914
0,8	197843,2	229684,8	16,09	2
2,4	4213840	4439320	5,35	6

Tabelle 7 zeigt die prozentualen Lastzunahmen über das komplette Jacket. Für die Berechnungen sind jeweils die maximal möglichen Parameter einer Welle gewählt. Die Differenz in Abhängigkeit des Durchmessers und der Amplitude nimmt mit wachsendem Durchmesser ab. Bei einem Durchmesser von 6m und einer Wellenhöhe von 2,4m beträgt der zusätzliche Lastanteil durch marinen Bewuchs lediglich 5,40%. Die folgende Tabelle zeigt, dass die Wellenhöhe kaum einen Einfluss auf die Differenz hat. Es werden Wellen von 0,4m – 2,4m berechnet und aufgrund des unrealistischen Jacketpfahl Durchmessers von 6m lediglich Lasten an einem einzelnen Pfahl betrachtet:

Tabelle 8: Wellenlasten an einem Zylinder mit 6m Durchmesser unter Einfluss marinen Bewuchses

Amplitude [m]	F(t) _{max} OMB [N]	F(t) _{max} MMB [N]	Differenzlast [N]
1,2	1053460	1109830	56370
1	864844	911234	46390
0,8	679973	716548	36575
0,6	500345	527310	26965
0,4	341584	360024	18440
0,2	169341	178490	9149

Die in Tabelle 8 kalkulierten Lasten zeigen den Unterschied zwischen einem 6m Pfahl ohne und mit Bewuchs. Diese Ergebnisse sind wie erwartet nahezu Linear (vgl. Abbildung 12). Aufgrund des nur geringen Last-Unterschiedes von ca. 5 % liegen die beiden Graphen sehr nah beieinander. Der Abstand der beiden Graphen zueinander nimmt jedoch mit wachsender Wellenhöhe linear zu:

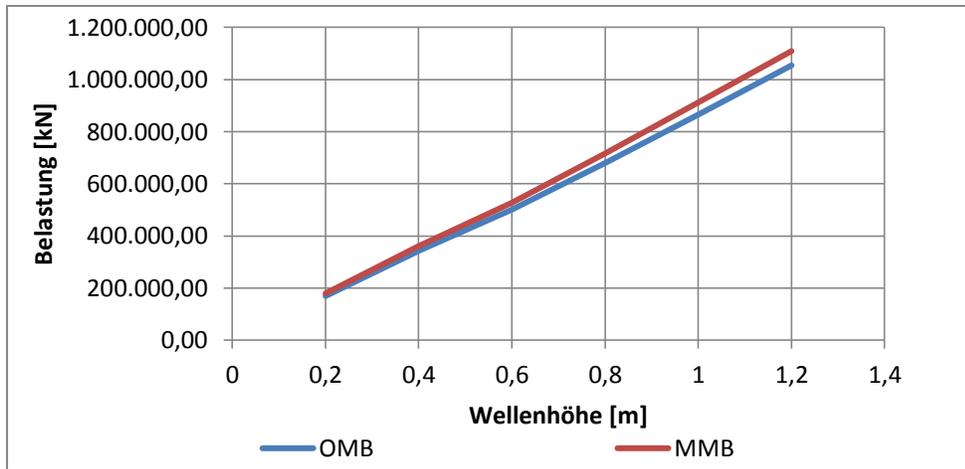


Abbildung 127: Lastenverlauf an einem Jacket mit (MMB) und ohne (OMB) Bewuchs

Diese Abbildung mit dem zuvor kalkulierten Jacket (vgl. Kapitel 0, $D = 1,074\text{m}$) wäre ebenfalls Linear, jedoch wie in Tabelle 7 erkennbar mit einem weitaus höheren Abstand zueinander (über 37 %). Diese relativ großen Unterschiede erschließen sich aus dem Verhältnis von Durchmesser des Zylinders und dicke des marinen Bewuchs:

Tabelle 9: Anteil des marinen Bewuchs vom Durchmesser

Durchmesser mit Bewuchs [m]	Bewuchs [m]	Anteil an D [%]
1,074	0,08	8,75
2,16	0,08	4,00
6,16	0,08	1,33

Tabelle 9 beweist, dass es durch den proportional stärker steigenden Durchmesser an einem dünneren Zylinder zu einer größeren Differenz der anliegenden Last kommt.

Vergleich von der Lasten STAAD.Offshore und Morison

Die Belastungen durch das Simulieren und der von Hand berechneten linearen Wellentheorie werden im Anschluss miteinander verglichen. Für einen direkten Vergleich wird in STAAD.Offshore ebenfalls auf Strömungsparameter und das Einlesen eines Jacketts verzichtet. Wie in Kapitel 0 wird lediglich ein Pfahl mit einem Durchmesser von 6m und einem durchgehenden Bewuchs von 0,08m simuliert. Es wird mit Hilfe der ausgegebenen Daten die höchste zu ermittelnde resultierende Last ($|F_{\max,H\text{-Last}}| + |F_{\max,V\text{-last}}|$) abgelesen. Dieser eingelesene Pfahl ist ebenfalls mit Wellenhöhen von 0,4m – 2,4m simuliert worden:

Tabelle 10: Simulierte Lasten an einem Pfahl mit D = 6m

Wellenhöhe [m]	$F_{\max, \text{Airy}}$ [kN]
2,4	1219
2	1001
1,6	801
1,2	601
0,8	400
0,4	202

Tabelle 10 zeigt eine lineare Lastzunahme wie sie ebenfalls in der Morison Kalkulation vorkommt. Folgende Tabelle zeigt den direkten Vergleich zwischen den beiden linearen Wellentheorien:

Tabelle 11: Vergleich der Wellentheorien nach Airy und Morison (Werte sind gerundet)

Wellenhöhe [m]	$F_{\max, \text{Airy}}$ [kN]	$F_{\max, \text{Morison}}$ [kN]	Differenz [kN]
2,4	1219	1110	109
2	1001	911	90
1,6	801	717	84
1,2	601	527	74
0,8	400	360	40
0,4	202	178	24

Die Ergebnisse zeigen, dass es zu charakteristischen Ähnlichkeiten kommt. Pro zunehmender Wellenhöhe nimmt jedoch die Differenz zwischen den Theorien zu:

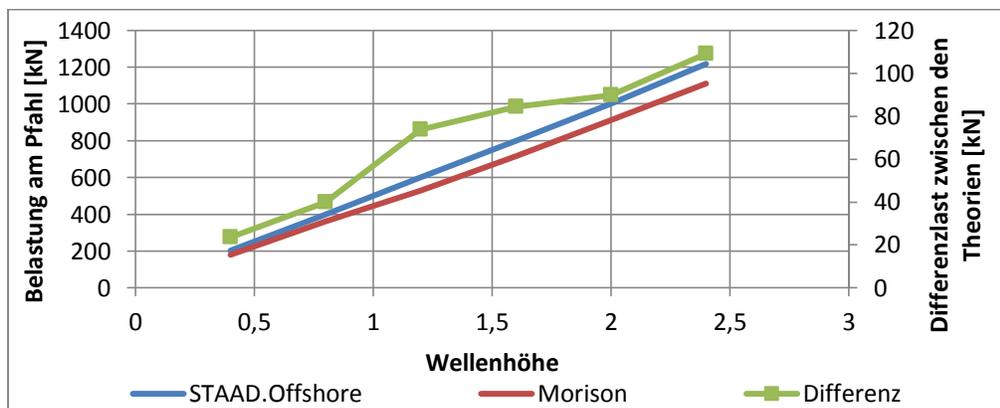


Abbildung 138: Vergleich der Wellentheorien und steigende Differenzlasten

Die lineare Berechnung nach Morison kommt zu geringeren anliegenden Lasten, als die mit STAAD.Offshore simulierten. Aufgrund der in das Programm integrierten Berechnungsschritte kann jedoch nicht gezeigt werden, warum es zu diesen Unterschieden kommt.

Werden im nächsten Schritt die Differenzen prozentual betrachtet, wird ersichtlich, dass die Kalkulation unter Zunahme von Bewuchs Abweichungen aufweist. Im Folgenden werden jeweils die Lasten mit und ohne Bewuchs aufgetragen und die prozentualen Unterschiede gezeigt:

Tabelle 12: Differenzen zwischen den linearen Wellentheorien mit marinem Bewuchs

Airy [kN]	Morison [kN]	Differenz [%]
202	178	13,17
400	360	11,10
601	527	13,97
801	717	11,79
1001	911	9,85
1219	1110	9,84

Tabelle 13: Differenzen zwischen den linearen Wellentheorien ohne marinen Bewuchs

Airy [kN]	Morison [kN]	Differenz [%]
193	169	13,97
383	342	12,12
575	500	14,92
774	680	13,83
959	865	10,89
1162	1053	10,30

Die Differenzen von ca. 9 % – 14 % entstehen durch o.g. Problem. Trotz dieser Abweichungen, betragen die Differenzen zwischen den Kalkulationen nach Airy und Morison lediglich ca. 1 % - 2 %:

Tabelle 14: Vergleich der Differenzen (MMB und OMB)

MMB [%]	OMB [%]	Differenz [%]
13,17	13,97	0,80
11,10	12,12	1,02
13,97	14,92	0,95
11,79	13,83	2,04
9,85	10,89	1,04
9,84	10,30	0,47

Die in Tabelle 14 dargestellten Werte zeigen, dass es bei einem Vergleich der Differenzen zwischen einem Pfahl mit und ohne Bewuchs zu nicht linearen Belastungen kommt. Je nach Bewuchsstärke und Wellenhöhe kommt es zu Ergebnis Schwankungen, trotz gleicher Formeln. Diese geringen Abweichungen

könnten jedoch ebenso durch Rundungsfehler innerhalb der Zwischenergebnisse auf Seite der von Hand berechneten Lasten kommen. Bedingt durch die lineare Wellentheorie sind diese Betrachtungen jedoch nicht von großer Bedeutung, da diese Theorie in den wenigsten Fällen angewendet wird. Wellenhöhen von maximal 2,4m werden an Standorten für OWP in der 50-Jahres Betrachtung für gewöhnlich überschritten und können daher noch linear betrachtet werden. Wellen, welche die Bedingung $a/D < 0,2$ nicht erfüllen, werden in jedem Fall mit einer nichtlinearen Theorie simuliert und führen zu weitaus genaueren Ergebnissen.

Der Vergleich zwischen den von Hand gerechneten Wellenlasten und den mit STAAD.Offshore simulierten gestaltet sich als kompliziert. STAAD.Offshore simuliert nicht einen Punkt während des Durchlaufs der Welle, sondern die Welle von $0^\circ - 360^\circ$. Für die maximale Last in einem Punkt bedarf es einer Integralähnlichen Berechnung wie nach Morison. Wird die Welle in einem Diagramm simuliert, kann lediglich ein geschätzter maximaler Wert abgelesen werden. Die Morison-Gleichung erlaubt durch das Einsetzen der maximalen Beschleunigung und Geschwindigkeit die maximal anliegende Kraft in einem Punkt der Welle. Nachteil der nach Morison gerechneten Belastung ist die Betrachtung in nur einem Punkt, welche keine Simulation der kompletten Welle ermöglicht. Trotz des komplizierten Vergleichs, ähneln sich diese Berechnungen in einigen Punkten. Die in Kapitel 0 behandelten Simulationen zeigen, dass sich die Lasten bei einer 12-mal höheren Welle um das ca. 13-fache erhöhen. Die lineare Wellentheorie nach Morison ähnelt sich in diesem Punkt mit den bspw. nach der Stream Function 3 oder Stokes 5 simulierten. Bei einer Zunahme der Wellenhöhe um das 6-fache, steigt die Last ebenfalls nahezu linear um das 6-fache an.

Die zusätzlich entstehenden Belastungen durch den marinen Bewuchs sind je nach Pfahldurchmesser enorm. Besonders kleine Pfahldurchmesser führen durch die rasche Steigerung des Durchmessers von mind. 5cm pro Jahr zu einer prozentual größeren auftretenden Belastung, welche bei der Konstruktion von Stabwerken berücksichtigt werden muss. Aufgrund der ebenfalls stark ansteigenden Korrosion durch Byssus Fäden und andere sessile Gemeinschaften sinkt die Belastbarkeit der künstlich eingebrachten Bauwerke sehr schnell. Untersuchungen haben dieses Problem bestätigt. Korrodierter Stahl an den Jacket-Konstruktionen im OWP Alpha Ventus hat zu einer Verringerung der Wandstärken von bisher 1-3mm geführt.

Ein wesentliches Problem der Berechnung von Wellenlasten stellen die stark voneinander abweichenden Normen und Richtlinien dar. Wie bereits in Kapitel 0 erläutert, kommt es zwischen den Massenträgheitskoeffizienten zu enorm hohen Unterschieden. Verglichen mit den kalkulierten Kräften, welche schnell 1000kN übersteigen, wäre ein Faktor von 1,2 – 2,0 maßgeblich an der resultierenden Kraft beteiligt. Wird lediglich die Sicherheit betrachtet, ist ein C_M -Wert von 2,0 der richtige. Der daraus resultierende erhöhte Materialverbrauch führt jedoch zu weitaus kostenintensiveren Gründungsstrukturen. Aufgrund der fehlenden Messdaten dürfen jedoch nicht ausschließlich die Kosten der bestimmende Faktor sein. Weiterhin müssen die bereits bestehenden Richtlinien an die stetig neuen Forschungsergebnisse angepasst werden. Der Germanische Lloyd gibt für die Berechnung der Wellenlasten unter Einfluss von marinem Bewuchs eine Stärke von ca. 50mm an. Dass diese Werte bereits nach kürzester Zeit überschritten werden, beweisen die ermittelten Daten von mittlerweile 80mm marinen Bewuchses.

Die abschließende Bewertung zeigt, dass es im Bereich der Wellenlasten noch zu erheblichen Differenzen kommt und diese im Laufe der Entwicklung von Offshore-Gründungsstrukturen weiterhin untersucht und verbessert werden müssen. Ein wesentlicher Beweis hierfür liefern die Differenzen der Ergebnisse aus Tabelle 4, welche trotz wachsender Wellenhöhe und gleichbleibendem Bewuchs sinken. Diese Abminderung kann aufgrund fehlender Berechnungsinformationen nicht betrachtet werden.

Grobkonzepte zur Entwicklung eines Erntegerätes (AP3)

Im Folgenden werden die Versuchsergebnisse der beiden durchgeführten praktischen Tests dargestellt und verglichen. Auf Grundlage dieses Vergleichs erfolgt die Auswahl des Ernte- und Reinigungsverfahrens, welches mit dem Ernte- & Reinigungsgerät (EuRG) zum Einsatz kommt.

Kavitationsreinigungssystem

Der Test mit dem Kavitationsreinigungssystem „CaviBlaster Model – 1222“ ergab, dass die an der Platte festgewachsenen Miesmuscheln durch das Verfahren restlos beseitigt wurden. Die flächige Rostkorrosion auf der Platte wurde dabei größtenteils entfernt (Abbildung). Korrosionsrückstände sind meist dort zu finden, wo die Platte durch den Netzwulst verdeckt war (vgl. Abb).

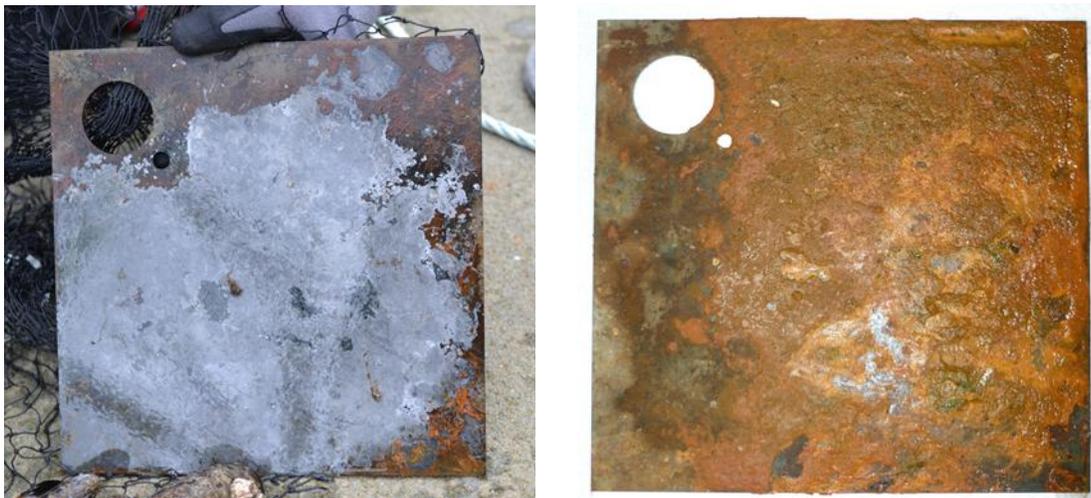


Abbildung 39: Mit dem Kavitationsverfahren gereinigte Platte (links); ungeräumte und korrodierte Platte ohne Muschelbewuchs (rechts).

Die Auszählung der Muscheln ergab, dass von den beprobten Miesmuscheln etwa 11 % Schalenbrüche aufwiesen. Von den unbeprobten Miesmuscheln waren es 5 %. Die genauen Ergebnisse der Auszählung in Anzahl an Individuen (Ind.) sowie deren Prozentanteil an der Gesamtanzahl können der Tabelle entnommen werden.

Tabelle 17: Ergebnisse der Auszählung der mittels Kavitationsverfahren beprobten und unbeprobten Miesmuscheln.

	beprobte Miesmuscheln		unbeprobte Miesmuscheln	
	Anzahl [Ind.]	Anzahl [%]	Anzahl [Ind.]	Anzahl [%]
unbeschädigt	41	89,1	38	95,0
beschädigt	5	10,9	2	5,0
gesamt	46	100,0	40	100,0

Die fünf beschädigten und mittels Kavitationsverfahren beprobten Muscheln sind in Abbildung dargestellt. Die Muscheln 1 (links) und 2 (mittig) weisen dabei einen partiellen Schalenbruch auf, waren aber noch mit Innereien gefüllt. Ob sie noch lebendig waren, konnte nicht festgestellt werden; die Möglichkeit besteht jedoch. Die Muscheln 3 bis 5 (rechts) waren komplett ausgehöhlt, sodass von ihnen nur noch die nicht mehr zusammenhängende Schale übrig war. Zum Größenvergleich der Muscheln wurde beim Fotografieren jeweils ein 5-Cent-Stück danebengelegt, welches zeigt, dass Muscheln aller Größen von Schalenbruch betroffen sein können.



Abbildung 40: Schadensbilder der mittels Kavitationsverfahren beprobten Miesmuscheln. Schalenbruch (links & mittig), komplett geteilt und ohne Innereien (rechts).

Des Weiteren gab es bei den beprobten Muscheln einige Exemplare, die auch nach dem Versuch noch über ihre Byssusfäden zusammengewachsen waren. Die Gesamtzahl von zusammengewachsenen Muscheln belief sich dabei auf 11, wobei meistens 2er-Gruppen sowie eine 3er-Gruppe auftraten. Eine dieser 2er-Gruppen ist in Abbildung dargestellt. Zudem ist auf dieser Abbildung gut zu erkennen, dass die Miesmuscheln bei der Reinigung mittels Kavitationssystem nicht von angewachsenen Seepocken befreit werden.

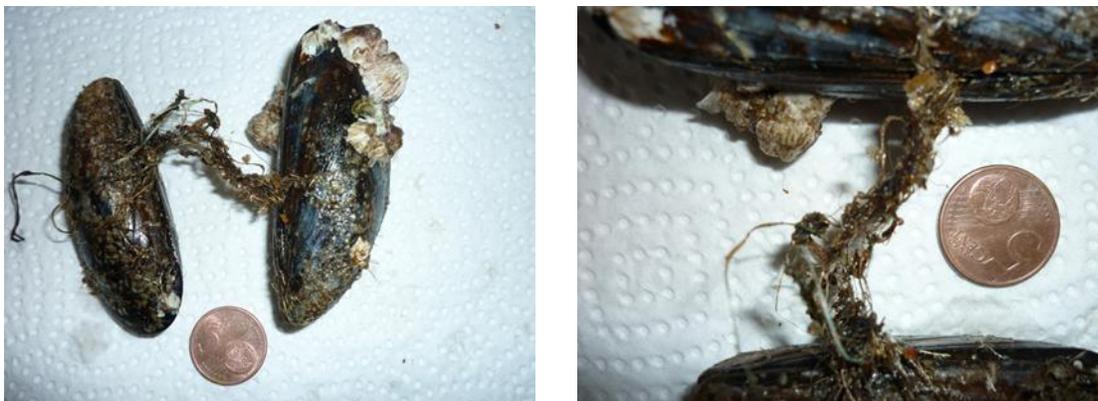


Abbildung 41: Mittels Kavitationsverfahren beprobte zusammengewachsene Miesmuscheln (links); Detailaufnahme der Byssusfäden (rechts).

Grundsätzlich kann das Kavitationsverfahren zur Reinigung der Gründungsstrukturen von OWEA eingesetzt werden. Erfahrungen bezüglich der Reinigung von Offshore-Strukturen sowie von Schiffskörpern existieren schon seit längerer Zeit. Zudem ist das Verfahren gängige Praxis bei Offshore-Reinigungsvorgängen. Wie der durchgeführte Test mit einem Kavitationsreinigungssystem zeigt, wird außerdem eventuell vorhandener Rost vom Stahluntergrund entfernt. Auch soll die Beschichtung auch

nicht unter dem Verfahren leiden, wenn es korrekt eingesetzt wird. Dies könnten zukünftige Tests noch etwas genauer beleuchten.

Das mittels Kavitation erzielte Reinigungsergebnis ist zudem vollkommen ausreichend, um nach dem Reinigungsvorgang die Gründungsstruktur optisch zu überprüfen und andere Prüfverfahren, wie z. B. Schichtdickenprüfungen, durchzuführen. Leider konnte beim Versuch nicht genau überprüft werden, ob das Kavitationsverfahren für am Untergrund anhaftende Miesmuscheln angewendet werden kann, da die beprobten Miesmuscheln auf den Demoplatten nicht so fest angewachsen waren, wie zuvor erwartet wurde. Diesbezüglich wäre ein weiterer Test wünschenswert. Nach Aussage der „Nordseetaucher GmbH“ ist das Verfahren jedoch zur Entfernung von stark anhaftenden Miesmuscheln geeignet.

Das Kavitationsreinigungsverfahren kann zudem auch über Wasser eingesetzt werden. Dort arbeitet das System wie ein herkömmlicher Hochdruckreiniger. Dazu wird allerdings eine andere Reinigungsdüse benötigt. Auch hierzu wären zukünftige Tests wünschenswert und erforderlich.

Der erste durchgeführte Test zur Eignung des Kavitationssystems zur Ernte der auf den Gründungsstrukturen wachsenden Miesmuscheln hat ein positives Ergebnis erbracht. Der durch das Verfahren bedingte Muschelbruch lag bei diesem Versuch etwa bei 11 %. Zieht man davon die vorher schon beschädigten Muscheln ab, deren Anteil in diesem Versuch bei 5 % lag, liegt der Anteil der durch Kavitation beschädigten Miesmuscheln bei etwa 6 %. Dies stellt ein gutes Ergebnis dar, da selbst Schalenstücke im Anschluss an die Ernte weiter verwendet werden können (z. B. in Fischmehlen). Der geringe Anteil an Muschelbruch ist somit nicht weiter kritisch.

Das Zusammenhaften mancher Miesmuscheln aneinander, auch nach dem Erntevorgang, könnte Probleme für die Absaugvorrichtung mit sich bringen, da es durch größere „Klumpen“ zusammengewachsener Muscheln z. B. zu Verstopfungen des Absaugschlauches kommen könnte.

Wie schon erwähnt, müssten weitere Tests oder Erfahrungen von Experten auf dem Gebiet der Kavitationsreinigung klären, inwieweit sich das Kavitationsverfahren mit der Beschichtung auf dem Zentralrohr von Tripods verträgt.

Bürstenreinigungssystem

Der Versuch mit der mobilen Version der Bootswaschanlage der Firma IPT ergab, dass die an den Demoplatten festgewachsenen Muscheln entfernt werden konnten (Abbildung).

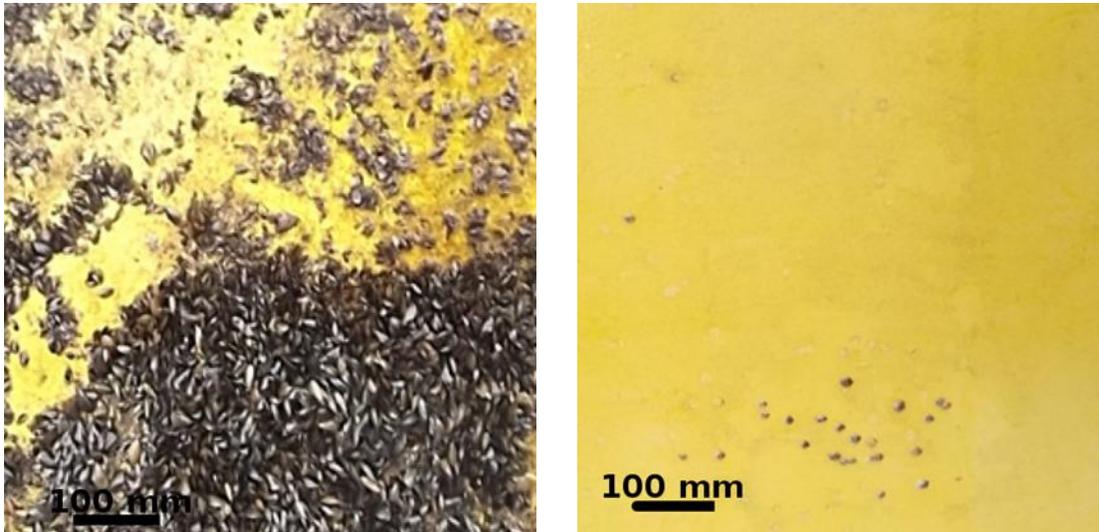


Abbildung 42: Bildausschnitt von einer mit Miesmuscheln bewachsenen Demoplatte vor der Reinigung (links) und nach der Reinigung (rechts).

Eine andere Demoplatte wies einen starken Seepockenbewuchs auf. Nach der Reinigung haftete der überwiegende Teil von ihnen an der Demoplatte an. Dies verdeutlicht Abbildung .

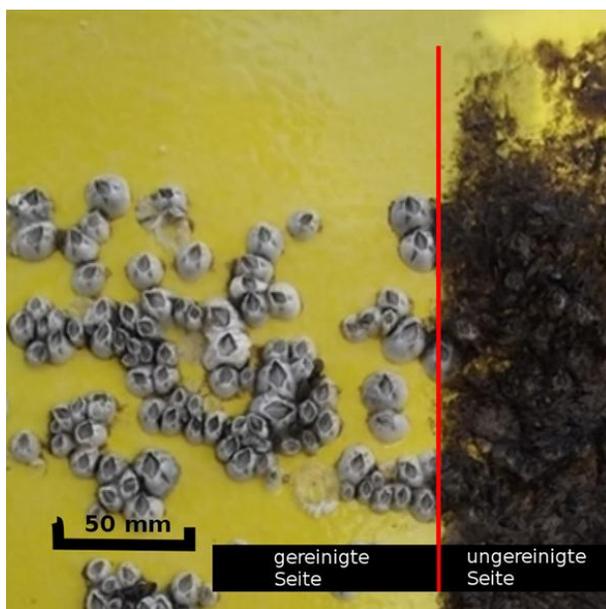


Abbildung 43: Demoplatte mit starkem Seepockenbewuchs. Die meisten Seepocken wurden durch das Bürstenverfahren nicht von der Demoplatte entfernt.

Aufgrund der fehlenden Möglichkeit zum Auffangen der abgereinigten Miesmuscheln kann keine Aussage über, durch das Verfahren begründete, Muschelbeschädigungen gemacht werden.

Das Bürstenreinigungsverfahren ist zur Reinigung von Offshore-Gründungsstrukturen nur bedingt geeignet, da stark anhaftender Aufwuchs mit einem großen Verhältnis von der Anhaftfläche zur Höhe, wie z. B. die häufig vorkommenden Seepocken, größtenteils nicht entfernt wird. Dies erschwert die Überprüfung der Strukturen nach BSH-Vorgabe.

Das Bürstenreinigungsverfahren behandelt dabei nach Aussage der Firma IPT die Beschichtung (Standard-zwei-Komponenten-Epoxidharz) schonend, sodass auf der Beschichtung beim Bürsten im Wasser auch nach einhundert Reinigungsdurchgängen keine Riefen entstanden. Hier ergeben sich jedoch große Unsicherheiten, da das Verfahren, wenn es am EuRG zum Einsatz kommt, auch über Wasser reinigen müsste. Unter Wasser besteht ein Schmiereffekt zwischen den Borsten der Bürste und der zu reinigenden Oberfläche durch das umgebende Wasser. Dies ist über Wasser nicht der Fall, sodass hier ein Versuch erforderlich wird, der klärt, ob die Beschichtung auch über Wasser nicht durch das Verfahren angegriffen wird.

Des Weiteren konnte während des Versuches nicht geklärt werden, wie schonend die Ernte der Miesmuscheln mittels Bürsten durchgeführt werden kann. Es wird allerdings nicht davon ausgegangen, dass der verfahrensbedingte Muschelbruch größer ausfällt als beim Kavitationsreinigungssystem. Weiterführende Versuche hierzu wären jedoch wünschenswert.

Auch konnte dieser Versuch nicht klären, wie sich stark zusammengewachsene „Miesmuschelklumpen“ verhalten. Werden die einzelnen Muscheln mit dem Bürstenverfahren voneinander getrennt oder bleiben womöglich größere „Klumpen“ bestehen? Auch diese Frage müssten weitere Versuche klären. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass, wie beim Kavitationsverfahren, keine Trennung aller Muscheln voneinander erfolgt.

Entscheidung über das einzusetzende System

Auch wenn die beiden durchgeführten Versuche zu den Ernte- und Reinigungssystemen nicht gänzlich miteinander vergleichbar und viele Fragen offen geblieben sind, fiel im Rahmen dieses Vorhabens die Entscheidung zugunsten des Kavitationsreinigungssystems.

In Tabelle sind beide getesteten Ernte- und Reinigungsverfahren gegenübergestellt, um die Vor- und Nachteile sowie die Unsicherheiten der Verfahren erkennen zu können. Des Weiteren wird angegeben, zu welchen Fragestellungen weiterführende Versuche wünschenswert und angebracht sind.

Die Vorteile des Kavitationsreinigungssystems sind vielfältig: Es ist über sowie unter Wasser einsetzbar, die Beschichtung soll während der Reinigung nicht beschädigt werden, der verfahrensbedingte Muschelbruch ist gering, das Reinigungsergebnis ist für eine Überprüfung nach BSH-Vorgabe ausreichend und es existieren schon Erfahrungen aus der praktischen Anwendung des Systems an Bootsrümpfen sowie an den Gründungsstrukturen von OWEA sowie Öl- und Gasplattformen.

Tabelle 18: Gegenüberstellung der getesteten Ernte- und Reinigungsverfahren.

Eigenschaft	Kavitationssystem	Bürstensystem
Beschädigung der Beschichtung an Gründungsstrukturen	Nein (Aussage der Firmen CaviDyne LLC und Nordseetaucher GmbH)	Nein (Aussage der Firma IPT)
Über Wasser einsetzbar	Ja (als normaler Hochdruckreiniger und mit spezieller Düse)	Keine Daten
Reinigungsergebnis	Gut (Wirkung auf Seepocken konnte nicht getestet werden)	Mangelhaft (bei hohem Aufkommen von Seepocken)
Verfahrensbedingte Muschelbeschädigungen	Gering (unter 10 %)	Keine Daten
Erfahrungswerte	Vorhanden (verschiedene Offshore-Spezialfirmen)	Nicht vorhanden

Konstruktion

Die funktionalen Module, in die das EuRG aufgeteilt ist, wurden zu einzelnen Baugruppen (BG) zusammengefasst und sind in Tabelle dargestellt. Für die Konstruktion der einzelnen BG des EuRG wurde die 3D Computer-Aided Design (CAD) Computersoftware „Autodesk Inventor 2012“ (64-Bit Edition) eingesetzt.

Tabelle 19: Übersicht der funktionalen Module, aus denen das EuRG besteht.

Name des funktionalen Moduls bzw. der BG	Kurzbeschreibung des funktionalen Moduls
EuRG	Zusammensetzung aller Unterbaugruppen zum Gesamtsystem
Ernte- & Reinigungs-Modul	System, das zur Reinigung der Offshore-Gründungsstrukturen sowie zur Ernte der Miesmuscheln an ihnen genutzt wird
ausziehbares-Modul	System, um die Reinigung und Ernte in der Wasserwechselzone nicht nur bei Stauwasser durchführen zu können
Träger-Modul	System, das alle Teile miteinander verbindet und hält
Radantriebs-Modul	System, das zur Fortbewegung und Steuerung auf den Gründungsstrukturen dient
Steuerungs-Modul	System, das die Komponenten zur Ansteuerung der verschiedenen Motoren und anderen steuerbare Systeme enthält und welches die erhaltenen Steuerungsbefehle weiterverarbeitet
Propellerantriebs-Modul	Antriebs- und Steuerungssystem zur Fortbewegung im Wasser und zur Erzeugung des benötigten Anpressdruckes beim Ernte- und Reinigungsvorgang an der Offshore-Gründungsstruktur
Ernteauffang-Modul	System, das die abgeernteten Miesmuscheln auffängt und zur Absaugvorrichtung weiterleitet
Auftriebs-Modul	System, das den benötigten Auftrieb für das EuRG erzeugt

In den folgenden Kapiteln werden die einzelnen Module des Ernte- und Reinigungsgeräts (EuRG) dargestellt.

Träger-Modul

Das Träger-Modul ist das zentrale Element des kompletten EuRG. Mit ihm sind alle anderen Komponenten und Module des EuRG verbunden. Es übernimmt somit Stütz- und Haltefunktionen und soll einen festen Rahmen bilden, auf den die anderen Module des EuRG aufbauen können. Das Träger-Modul ist in Abbildung dargestellt und hat die Baugruppennummer (BGN): 112900-005-BG001. Seine Gesamtmasse beträgt etwa 57 kg.

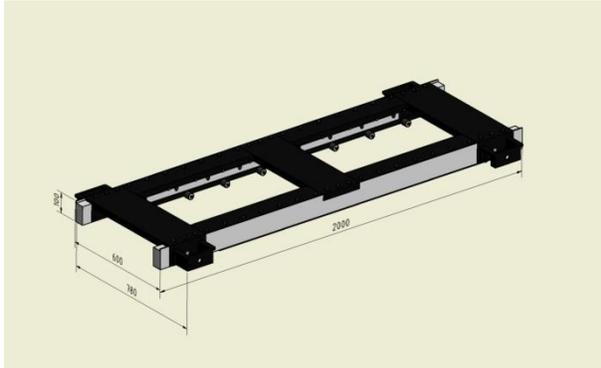


Abbildung 44: Träger-Modul des EuRG.

In seiner Form besteht das Träger-Modul aus insgesamt 23 verschiedenen Einzelteilen. Davon sind einige Bauteile, wie z. B. Schrauben, mehrmals verwendet worden, sodass sich eine Gesamtanzahl von 335 Bauteilen ergibt. Eine genaue Auflistung ist in Tabelle zu finden. In dieser Tabelle sind neben der Anzahl und Bezeichnung der einzelnen Bauteile deren Werkstoff, Masse aufgeführt.

Bei den beiden Hauptträgern (Bauteilnummer (BTN): 112900-005-BT001) wurde sich für einen Balkenquerschnitt entschieden. Sie weisen Bohrungen auf, in welche Gewinde geschnitten werden. Diese Gewinde dienen dazu, die drei Verbindungsbrücken (2x BTN: 112900-005-BT002 und 112900-005-BT003), die Führungsschienen für das ausziehbare-Modul (BTN: 112900-005-BT004) und die untere Führungsrollenhalterung (BTN: 112900-005-BT009) zu befestigen. Für die erwähnten BT, die an die Hauptträger angebracht werden, sind Nuten in die Hauptträger gefräst, um die gewünschte Formstabilität zu erhalten und den Zusammenbau zu erleichtern. Des Weiteren haben die beiden Hauptträger in der Nähe ihrer Enden eine große Bohrung und vier kleinere Bohrungen, die dazu dienen, das Radantriebs-Modul sowie die Halterung für den Radantrieb (BTN: 112900-005-BT012) zu befestigen. Als Material für die Hauptträger wurde Acetal-Kunststoff ausgewählt, da dieser bei einer relativ geringen Dichte gute mechanische Eigenschaften aufweist.

Bei den drei Verbindungsbrücken handelt es sich um Querverstrebungen, die die beiden Hauptträger miteinander verbinden. Sie sind aus einem Aluminiumprofil gefertigt, um eine ausreichende Biegestabilität zu erreichen und gleichzeitig durch die Werkstoffwahl relativ leicht. Die vordere und hintere Verbindungsbrücke (BTN: 112900-005-BT002) sind identisch und weisen, wie die Hauptträger auch, Bohrungen zur Aufnahme des Radantrieb-Moduls sowie deren Halterung auf. Bei der mittleren Verbindungsbrücke (BTN: 112900-005-BT003) wurde auf diese Bohrungen verzichtet.

Tabelle 20: Auflistung der Bauteile des Träger-Moduls mit Werkstoff und Masse.

Anzahl	BT-Nummer	BT-Bezeichnung	Werkstoff	Masse
--------	-----------	----------------	-----------	-------

2	112900-005-BT001	Hauptträger (1 mal gespiegelt)	Acetal-Kunststoff	12,172 kg
2	112900-005-BT002	Verbindungsbrücke (vorne & hinten)	Aluminium	4,344 kg
1	112900-005-BT003	Verbindungsbrücke (mitte)	Aluminium	3,992 kg
4	112900-005-BT004	Führungsschiene	Aluminium	2,347 kg
46	M10 x 30	ISO metrische Schraube	Stahl	0,031 kg
4	M6 x 50	ISO metrische Schraube	Stahl	0,014 kg
20	M8 x 65	ISO metrische Schraube	Stahl	0,033 kg
40	DIN 126 - 9	Unterlegscheibe	Stahl	0,002 kg
20	112900-005-BT005	Hauptführungsrolle	Acetal-Kunststoff	0,004 kg
20	112900-005-BT006	Hauptführungsrolle (Belag)	Gummi	0,007 kg
34	DIN 126 - 6,6	Unterlegscheibe	Stahl	0,001 kg
16	112900-005-BT007	Seitliche Führungsrolle	Acetal-Kunststoff	0,001 kg
16	112900-005-BT008	Seitliche Führungsrolle (Belag)	Gummi	0,001 kg
16	M6 x 25	ISO metrische Schraube	Stahl	0,008 kg
2	112900-005-BT009	untere Führungsrollenhalterung	Aluminium	2,492 kg
18	M6 x 16	ISO metrische Schraube	Stahl	0,006 kg
18	112900-005-BT010	untere Führungsrolle	Acetal-Kunststoff	0,011 kg
18	112900-005-BT011	untere Führungsrolle (Belag)	Gummi	0,006 kg
18	M6 x 55	ISO metrische Schraube	Stahl	0,015 kg
4	112900-005-BT012	Radantriebshalterung (2 mal gespiegelt)	Aluminium	0,620 kg
16	M6 x 60	ISO metrische Schraube	Stahl	0,016 kg

Für das ausziehbare-Modul sind vier spezielle Führungsschienen (BTN: 112900-005-BT004) an den Hauptträgern zwischen den Verbindungsbrücken montiert. An ihnen befinden sich jeweils fünf Hauptführungsrollen (BGN: 112900-005-BG002) sowie vier seitlichen Führungsrollen (BGN: 112900-005-BG003). Alle verwendeten Führungsrollen wurden als eigenständige Baugruppen erstellt und sind aus einem Rollenkörper bzw. einer Felge, bestehend aus Acetal-Kunststoff, und einem Belag, bestehend aus Gummi, zusammengesetzt. Die Herstellung der Führungsschienen erfolgt aus einem Aluminiumprofil.

An der Unterseite der Hauptträger sind zwei weitere Führungsschienen (BTN: 112900-005-BT009) angebracht, welche die Aufgabe haben, jeweils neun der unteren Führungsrollen (BGN: 112900-005-BG004) zu halten. Auch sie bestehen aus einem Aluminiumprofil.

Die gesamten zum Einsatz kommenden, drehbar gelagerten Führungsrollen ermöglichen ein ausziehbares-Modul mit geringem Spiel, das sich theoretisch nicht in seiner Führung verkanten kann und somit störungsunempfindlich ist. Auch bietet ein gut geführtes und nicht wackelndes ausziehbares-Modul Vorteile beim Ernte- und Reinigungsprozess, der hierdurch besser zu handhaben ist.

Alternativ kann die Führung des ausziehbaren Moduls mittels Kunststoffklötzen die in Aluminiumschienen laufen, realisiert werden. Dabei ist jedoch auf ausreichend Spiel zwischen den Klötzen und den Schienen zu achten. Dies ermöglicht eine bessere Schmierung und verhindert somit Verkantungen. Auch wäre ein teleskopartiger Auszug vorstellbar, da dieser die Steifigkeit erhöhen kann.

Seitlich an die Hauptträger werden die Halterungen für den Radantrieb (BTN: 112900-005-BT012) mithilfe von jeweils vier Schrauben befestigt. Es gibt zwei identische Halterungen. Auf eine Darstellung

der beiden anderen Halterungen wird verzichtet, da diese Spiegelungen der ersten sind. Die Halterungen für den Radantrieb bestehen aus Aluminium und weisen an einer Seite einen rechteckigen abgerundeten Ausschnitt auf. Dieser wird für den Höhenverstellungsmechanismus des EuRG benötigt.

Ausziehbares Modul

Das ausziehbare-Modul besteht aus insgesamt zwei BG: erstens dem eigentlichen ausziehbaren-Modul (BGN: 112900-004-BG001) und zweitens dem Antriebs-Modul des ausziehbaren-Moduls (BGN: 112900-004-BG003). Beide BG sind in Abbildung dargestellt. Die Anzahl der verschiedenen Komponenten beläuft sich auf 15 bei einer Gesamtanzahl von 125 BT. In Tabelle befindet sich zur Übersicht eine Auflistung aller Bauteile mit den dazugehörigen Werkstoffen und ihrer Masse. Die Gesamtmasse des ausziehbaren-Moduls beträgt etwa 29 kg.

Tabelle 21: Auflistung der Bauteile des ausziehbaren-Moduls mit Werkstoff und Masse.

Anzahl	BT-Nummer	BT-Bezeichnung	Werkstoff	Masse
2	112900-004-BT001	Auszugträger (1 mal gespiegelt)	Aluminium	7,028 kg
6	112900-004-BT007	Querverstrebung	Aluminium	0,345 kg
38	DIN 6923 - M6	Sechskantmutter	Stahl	0,004 kg
32	M6 x 25	ISO metrische Schraube	Stahl	0,008 kg
1	112900-004-BT011	Mittelteil	Aluminium	7,704 kg
24	M6 x 16	ISO metrische Schraube	Stahl	0,006 kg
1	112900-004-BT007	hintere Querverstrebung	Aluminium	0,763 kg
1	112900-004-BT002	Zahnstange	Stahllegierung	2,765 kg
10	M6 x 12	ISO metrische Schraube	Stahl	0,005 kg
1	112900-004-BT004	Kopfplatte	Aluminium	1,007 kg
6	M6 x 30	ISO metrische Schraube	Stahl	0,009 kg
1	112900-004-BT013	Black Box Getriebe	-	5,000 kg
1	112900-004-BT003	Zahnrad	Stahllegierung	0,266 kg
1	112900-004-BT014	Black Box Motor	-	1,500 kg

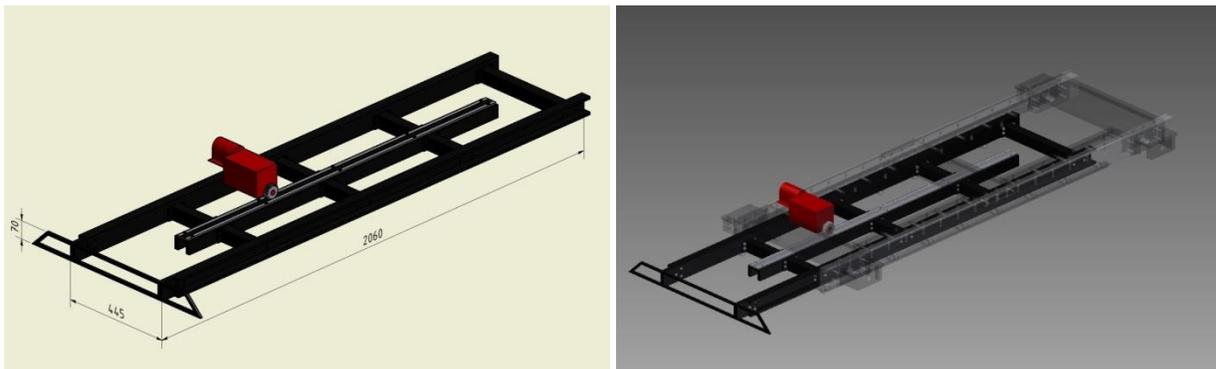


Abbildung 45: Ausziehbares-Modul des EuRG.

Wie schon das Träger-Modul, besteht auch das ausziehbare-Modul aus zwei Hauptträgern (hier Auszugträger genannt), wobei der eine die Spiegelung des anderen (BTN: 112900-004-BT001) ist. Die Auszugträger sind aus einem Aluminium-U-Profil gefertigt. An der Unterseite des U-Profiles befinden sich in regelmäßigen Abständen Bohrungen, an denen die Querverstrebungen (BTN: 112900-004-BT007 und

112900-004-BT012) sowie die Kopfplatte (BTN: 112900-004-BT004) und der Ernteauffangtrichter (BGN: 112900-009-BG002) befestigt sind. Die beiden Auszugsträger stehen zudem im direkten Kontakt zu den Führungsrollen des Träger-Moduls und bilden mit ihnen zusammen das eigentliche Auszugssystem.

Die Querverstrebungen gibt es in zwei verschiedenen Ausführungen. Die erste Ausführung (BTN: 112900-004-BT007) wird an jedem Auszugsträger jeweils dreimal mittig angebracht. Auf der Seite, die nicht in Kontakt mit dem Auszugsträger steht, befindet sich das sogenannte Mittelteil (BTN: 112900-004-BT011), welches selbst ein U-Profil aus Aluminium ist. Auf ihm ist zudem eine Zahnstange (BTN: 112900-004-BT002) angebracht, durch welche sich das ausziehbare-Modul ein- und ausfahren lässt. Die zweite Ausführung der Querverstrebung (BTN 112900-004-BT012) befindet sich am hinteren Ende des ausziehbaren-Moduls und gleicht der ersten. Sie ist nur etwas länger, da sie beide Auszugsträger direkt miteinander verbindet und nicht das Mittelteil mit jeweils einem Auszugsträger. Die Querverstrebungen bestehen auch aus einem Aluminium-U-Profil und haben an ihren Enden Laschen, durch die jeweils zwei Bohrungen zur Befestigung an den anderen erwähnten BT gehen.

Die Kopfplatte (BTN: 112900-004-BT004) ist, wie der Name andeutet, an der vordersten Spitze der Auszugsträger angebracht und dient dazu, die verschiedenen Geräte, die zum Ernte- und Reinigungsvorgang benötigt werden, zu befestigen. Zu diesen Geräten gehören neben den Austrittsdüsen des Kavitationsreinigungssystems (eine Düse für die Reinigung mittels Kavitation, eine Düse für die Reinigung mittels Hochdruckwasserstrahl) auch Videokameras zur Überwachung des Ernte- und Reinigungserfolges sowie zur Navigation. Zudem bietet die Kopfplatte auch noch Platz für andere optionale Geräte und Systeme. Sie wird aus Aluminium gefertigt. Ihre Befestigung erfolgt, indem sie in die beiden Auszugsträger bis zum Anschlagpunkt hineingeschoben und dann mit ihnen sowie dem Ernteauffangtrichter verschraubt wird.

Der Antrieb des ausziehbaren-Moduls (BGN: 112900-004-BG003) muss noch genau spezifiziert werden. Die Vorstellungen gehen aber dahin, dass der Antrieb aus einem Elektromotor und einem Getriebe besteht. An der Getriebeaustrittswelle muss dabei ein zur Zahnstange des ausziehbaren-Moduls passendes Zahnrad angebracht werden, welches auch in die Zahnstange eingreift. Da der Motor und das Getriebe noch nicht spezifiziert worden sind, treten sie in den Zeichnungen als Black Box oder Platzhalter auf. Die Befestigung beider BT ist an der vorderen Verbindungsbrücke (BTN 112900-005-BT002) vorgesehen.

Die ausziehbare Länge des ausziehbaren-Moduls beträgt 1,5 m und reicht somit aus, um die Muscheln und den anderen vorhandenen Bewuchs in der unteren Wasserwechselzone von der Gründungsstruktur abzureinigen. Die Realisierung der ausziehbaren Länge erfolgt über die Zahnstange, welche selbst auch 1,5 m lang ist. Zusätzliche Stopper sind vorerst nicht vorgesehen, sodass entsprechende Sensoren benötigt werden, die ein weiteres Ausfahren des Moduls verhindern, indem sie den Antriebsmotor stoppen.

Um die Beweglichkeit des ausziehbaren-Moduls zu gewährleisten, ist nicht zwingend ein Zahnstangenantrieb erforderlich. Es könnte zum Beispiel auch eine elektrische ausfahrbare Kolbenstange zum Einsatz kommen, welche den Vorteil hat, dass sie unempfindlicher gegenüber Verschmutzungen ist.

Ernte- & Reinigungs-Modul

Das Ernte- & Reinigungs-Modul (BGN: 112900-003-BG001) besteht aus lediglich zwei verschiedenen Bauteilen, welche in Tabelle 22 aufgelistet sind und in Abbildung dargestellt werden. Die Gesamtmasse dieses Moduls beträgt etwa 50 kg.

Tabelle 22: Auflistung der Bauteile des Ernte- & Reinigungs-Moduls mit Werkstoff und Masse.

Anzahl	BT-Nummer	BT-Bezeichnung	Werkstoff	Masse
1	112900-003-BT001	Black Box CaviBlaster Model 1030 – ROV	-	45,000 kg
1	112900-003-BT002	Halterung	Aluminium	4,646 kg

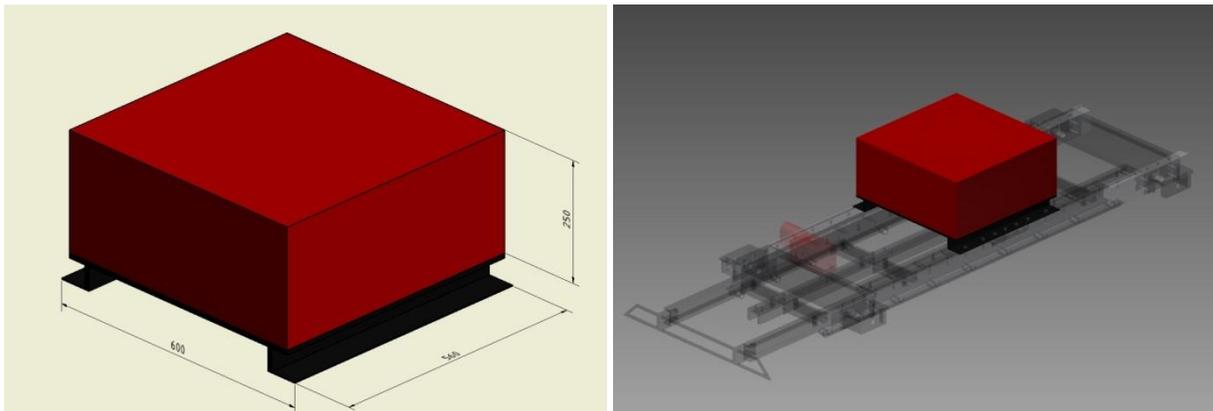


Abbildung 46: Ernte- & Reinigungs-Modul des EuRG.

Als Kavitationsreinigungssystem kommt das System „CaviBlaster Model 1030 – ROV“ zum Einsatz. Leider waren keine weiterführenden Auskünfte über das System vom Hersteller zu erfahren, außer die auf dem Datenblatt dargestellten. Dies hat bei der Konstruktion des EuRG zur Folge, dass das System als Black Box gestaltet wurde. Diese besitzt die genauen äußeren Abmessungen sowie die auf dem Datenblatt angegebene Masse. Die Düsen für den Ernte- und Reinigungsvorgang konnten nicht ausgewählt werden. Es sollen aber Düsen zum Einsatz kommen, die die komplette Breite des EuRG bzw. mindestens die Spurbreite bei nach innen gedrehten Rädern abdecken. Dabei muss eine Düse eine spezielle Kavitationsdüse (für den Unterwasserbereich) und eine Düse eine normale Düse von Wasserhochdruckreinigungssystemen (für den Bereich über Wasser) sein. Zwischen ihnen muss ein ansteuerbares Ventil sitzen, um auf die passende Austrittsdüse umzuschalten. Die Energieversorgungsschläuche sowie die Schläuche zu den an der Kopfplatte (BTN: 112900-004-BT004) des ausziehbaren-Moduls (BGN: 112900-004-BG001) angebrachten Düsen wurden nicht in die Konstruktion aufgenommen, müssen aber dennoch berücksichtigt werden. Die Auswahl der Düsen muss so geschehen, dass sie den kompletten Bereich der Kopfplatte abdecken. Dies kann entweder über die Düsenform und/oder die Düsenanzahl geschehen.

Das Kavitationsreinigungssystem ist auf einer Halterung montiert. Wie diese genau aussieht, kann aufgrund des Black Box-Charakters des Reinigungssystems nicht bestimmt werden. Es ist jedoch geplant, diese Halterung direkt auf der mittleren Verbindungsbrücke (BTN: 112900-005-BT003) sowie auf den Führungsschienen für das ausziehbare-Modul (BTN: 112900-005-BT004) anzubringen.

Alternativ kann das Kavitationsreinigungsgerät direkt auf dem Service-Schiff stehen. In diesem Fall wird nur ein Druckschlauch zur Versorgung der Kavitationsreinigungs- und der Hochdruckdüse benötigt. Außerdem fällt die Gesamtmasse des EuRG um etwa 50 kg, was sich positiv auf den Gesamtschwerpunkt des Gerätes auswirken könnte und zusätzlichen Spielraum zur Anbringung der Auftriebskörper bietet. Ein direkt auf dem Schiff positioniertes Kavitationsreinigungssystem könnte z. B. „CaviBlaster Model – 1222“ oder ein ähnliches System sein.

Radantriebs-Modul

Das Radantriebs-Modul besteht aus drei BG: erstens dem eigentlichen Radantriebs-Modul (BGN: 112900-006-BG001), zweitens dem Antriebsstrang zur Höhenverstellung des EuRG (BGN: 112900-006-BG002) und drittens einer Spiegelung der ersten BG (wird aus diesem Grund nicht gesondert dargestellt). Das gesamte Radantriebs-Modul besteht aus 11 verschiedenen Komponenten und besitzt in der jetzigen Form insgesamt 24 BT. Die BT sind in Tabelle mit den dazugehörigen Werkstoffen und Massen aufgeführt. In Abbildung ist sie zudem grafisch dargestellt. Die Gesamtmasse des Radantriebs-Moduls beträgt etwa 97 kg.

Tabelle 23: Auflistung der Bauteile des Radantriebs-Moduls mit Werkstoff und Masse.

Anzahl	BT-Nummer	BT-Bezeichnung	Werkstoff	Masse
2	112900-006-BT001	Oberteil Radaufhängung	Aluminium	0,237 kg
2	112900-006-BT002	Unterteil Radaufhängung	Aluminium	0,097 kg
2	112900-006-BT003	Black Box Radnabenmotor	-	15,000 kg
2	112900-006-BT004	Reifen	Gummi	1,277 kg
1	112900-006-BT005	Black Box Getriebe	-	10,000 kg
1	112900-006-BT006	Black Box Motor	-	4,000 kg
2	112900-006-BT007	Wellenhalterung	Stahllegierung	0,129 kg
2	112900-006-BT008	Welle	Stahllegierung	0,516 kg
2	112900-006-BT009	Verstellstrebe	Stahllegierung	0,080 kg
4	DIN 6923 - M6	Sechskantmutter	Stahl	0,004 kg
4	M6 x 30	ISO metrische Schraube	Stahl	0,009 kg

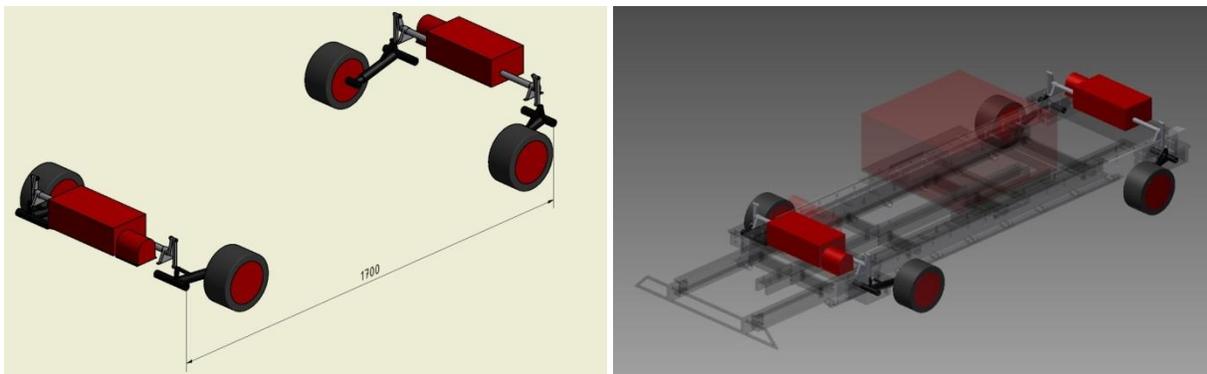


Abbildung 47: Radantriebs-Modul des EuRG.

Die BG Radantriebs-Modul ist aus zwei BT und einer untergeordneten BG zusammengesetzt. Das erste BT ist das Oberteil der Radaufhängung (BTN: 112900-006-BT001). Es besteht aus zwei T-förmig

angeordneten Aluminiumrohren. Das obere Rohr ist die Drehachse für die Höhenverstellung des EuRG und wird durch die großen Bohrungen im Hauptträger (BTN: 112900-005-BT001), in der vorderen und hinteren Verbindungsbrücke (BTN: 112900-005-BT002) sowie in der Halterung des Radantriebs-Moduls (BTN: 112900-005-BT012) gehalten. Inwieweit und welche Lagerformen (Kugel-, Kegel-, Rollenlager etc.) zum Einsatz kommen, ist nicht spezifiziert. An den beiden T-förmig angeordneten Rohren ist außerdem der Anschlagpunkt für den Höhenverstellmechanismus angebracht. Dieser besteht aus einem V-förmigen Aluminiumkörper und ist mit einer Bohrung versehen, die mit dem Verstellmechanismus verschraubt wird. Das andere Rohr ist etwas dicker als das erste gestaltet und nimmt das Unterteil der Radaufhängung (BTN: 112900-006-BT002) auf. In ihm soll zudem ein Mechanismus zur Lenkung der Räder installiert werden. Dieser ist jedoch nicht spezifiziert. Vorstellbar ist aber, z. B. einen Schrittmotor in das Rohr einzubringen. Dazu müsste je nach eingesetztem Motor der Durchmesser des Rohres angepasst werden.

Das Unterteil der Radaufhängung dient selbst mehr als Platzhalter denn als reales BT, da in diesem Bereich noch Entwicklungsarbeit zu leisten ist. Zum einen muss, wie bereits erwähnt, der Durchmesser des Rohres des Oberteils der Radaufhängung, an dem das Unterteil eingesetzt wird, je nach eingesetztem Motor verändert werden, zum anderen soll die andere Seite des L-förmigen Unterteils zur Befestigung der BG Rad dienen. Die BG Rad (BGN: 112900-006-BG002) besteht nämlich aus einem nicht dimensionierten Radnabenmotor, der als Black Box in das Konzept des EuRG integriert wurde, und dem Reifen, der durch die fehlenden Daten über den einzusetzenden Radnabenmotor selbst auch nicht genau dimensioniert werden kann. Beide BT sind aus diesem Grund nicht gesondert dargestellt und bemaßt worden. Es wird aber von einem Außendurchmesser des Reifens von 200 mm ausgegangen.

Die BG Antriebsstrang zur Höhenverstellung des EuRG (BGN: 112900-006-BG003) dient selbst nur der Konzeptveranschaulichung, da in ihr zwei BT enthalten sind, deren genaue Auslegung nicht erfolgt ist. Diese BT wurden als Black Box gestaltet und sind der Motor sowie das Getriebe für die Höhenverstellung. Bei beiden Teilen wurde deshalb auf die genaue Darstellung mit Maßen verzichtet. Aufgrund der zentralen Stellung des Getriebes im Höhenverstellmechanismus können auch die meisten anderen BT dieser BG nur unzureichend dimensioniert werden und dienen deshalb ausschließlich der Konzeptveranschaulichung. Direkt aus dem Getriebe treten die Wellen der Höhenverstellung (BTN: 112900-006-BT008) aus. An einem Ende von ihnen ragt ein Kragarm heraus, der dazu dient, die rotatorische Bewegung der Welle in eine translatorische Bewegung umzuwandeln. Diese translatorische Bewegung wird auf die sogenannte Verstellstrebe (BTN: 112900-006-BT009) weitergeleitet, welche direkt über eine Schraubverbindung mit dem Anschlagpunkt für die Höhenverstellung am Oberteil der Radaufhängung (BTN: 112900-006-BT001) verbunden ist. Die Welle des Höhenverstellmechanismus wird durch die Wellenhalterung (BTN: 112900-006-BT007) gelagert. Inwieweit und welche Lager in der Wellenhalterung eingesetzt werden müssen, wurde nicht untersucht.

Positioniert werden muss die BG Antriebsstrang zur Höhenverstellung des EuRG so, dass der Mittelpunkt der aus dem Getriebe austretenden Welle direkt senkrecht oberhalb der großen Bohrung der Halterung des Radantriebs-Moduls (BTN: 112900-005-BT012) liegt. Der Motor, das Getriebe sowie die Wellenhalterung könnten jeweils auf der vorderen sowie auf der hinteren Verbindungsbrücke (BTN: 112900-005-BT002) fixiert werden.

Propellerantriebs-Modul

Die Hauptaufgaben des Propellerantriebs-Moduls bestehen darin, das EuRG in der Wassersäule zu navigieren und anzutreiben sowie den für den Ernte- und Reinigungsvorgang nötigen Anpressdruck an die Offshore-Gründungsstrukturen zu erzeugen. Zur Erfüllung dieser Aufgaben besteht dieses Modul aus 27 verschiedenen Komponenten mit einer Gesamtanzahl von 218 BT. Die BT sind mit der dazugehörigen Masse sowie ihren Werkstoffen in Tabelle aufgelistet. Zur Veranschaulichung dient Abbildung . Die Gesamtmasse dieses Moduls beträgt etwa 32 kg.

Das Propellerantriebs-Modul (BGN: 112900-008-BG001) besteht aus einer Rahmenstruktur. Diese ist aus den zwei Hauptträgern (BTN: 112900-008-BT001) und vier Querstreben (BTN: 112900-008-BT002) zusammengesetzt. Der Hauptträger besteht aus Aluminium-U-Profilen. An der Unterseite sind Laschen mit Bohrungen zur Befestigung auf dem Träger-Modul (BGN: 112900-005-BG001) vorhanden. Die vier Querstreben bestehen ebenfalls aus Aluminium, haben jedoch ein T-Profil und verbinden die zwei Hauptträger an ihrer Oberseite mithilfe von Verschraubungen. Des Weiteren haben sie zusätzliche Bohrungen, in denen Teile des Ernteauffang-Moduls sowie die Halterung für den großen Propeller (BTN: 112900-008-BT003) verschraubt werden.

Die Halterung für den großen Propeller besteht aus einem U-Profil aus Aluminium, welches in seiner Mitte eine Lagerung für die Propellerwelle (BTN: 112900-008-BT005) aufweist. Auf der Oberseite der Welle wird der große Propeller (BTN: 112900-008-BT004) angebracht. Dieser ist jedoch nicht spezifiziert worden, sodass sich die Dimensionen von ihm sowie von der Propellerwelle ändern können. Der Durchmesser des Propellers sollte aber nicht über 260 mm hinausgehen, da er sonst mit der Rahmenstruktur in Kontakt kommt. Der Antriebsmotor (BTN: 112900-008-BT006) für den großen Propeller wurde als Black Box in das Konzept des Propellerantriebes integriert. Die in der Zeichnung erfolgte Bemaßung soll lediglich eine Variante der Befestigung aufzeigen (Verschraubung mit der Propellerhalterung). Der große Propeller dient nicht zur Fortbewegung in der Wassersäule, sondern ausschließlich zur Erzeugung des nötigen Anpressdruckes an die Gründungsstruktur.

Tabelle 24: Auflistung der Bauteile des Propellerantriebs-Moduls mit Werkstoff und Masse.

Anzahl	BT-Nummer	BT-Bezeichnung	Werkstoff	Masse
2	112900-008-BT001	Hauptträger	Aluminium	6,326 kg
4	112900-008-BT002	Querstrebe	Aluminium	0,798 kg
24	M6 x 16	ISO metrische Schraube	Stahl	0,006 kg
2	112900-008-BT003	große Propellerhalterung	Aluminium	0,163 kg
2	112900-008-BT004	großer Propeller	Acetal-Kunststoff	0,093 kg
2	112900-008-BT005	große Propellerwelle	Stahllegierung	0,049 kg
2	112900-008-BT006	Black Box Motor groß	-	2,500 kg
4	M6 x 25	ISO metrische Schraube	Stahl	0,008 kg
4	M6	Sechskantmutter	Stahl	0,004 kg
4	112900-008-BT010	kleine Propellerhalteung (2 mal gespiegelt)	Aluminium	0,324 kg
32	M4 x 12	ISO metrische Schraube	Stahl	0,002 kg
4	112900-008-BT012	großer Propellerkäfig	Polypropylen	0,151 kg

2	112900-008-BT013	untere Propellerkäfighalterung	Aluminium	0,138 kg
40	M4 x 8	ISO metrische Schraube	Stahl	0,002 kg
24	112900-008-BT014	Vibrationsdämpfer	Gummi	0,001 kg
8	M6 x 40	ISO metrische Schraube	Stahl	0,011 kg
2	112900-008-BT015	obere Propellerkäfighalterung	Aluminium	0,086 kg
8	M4 x 20	ISO metrische Schraube	Stahl	0,003 kg
8	M6 x 16	ISO metrische Innensechskantschraube	Stahl	0,007 kg
4	112900-008-BT008	kleiner Propellerkäfig	Aluminium	0,674 kg
4	112900-008-BT007	kleiner Propeller	Acetal-Kunststoff	0,065 kg
4	112900-008-BT009	kleine Propellerwelle	Stahllegierung	0,019 kg
4	112900-008-BT011	Black Box Motor klein	-	1,200 kg
8	M4 x 20	ISO metrische Schraube	Stahl	0,003 kg
8	M4	Sechskantmutter	Stahl	0,001 kg
8	DIN 126 – 4,2	Unterlegscheibe	Stahl	0,000 kg

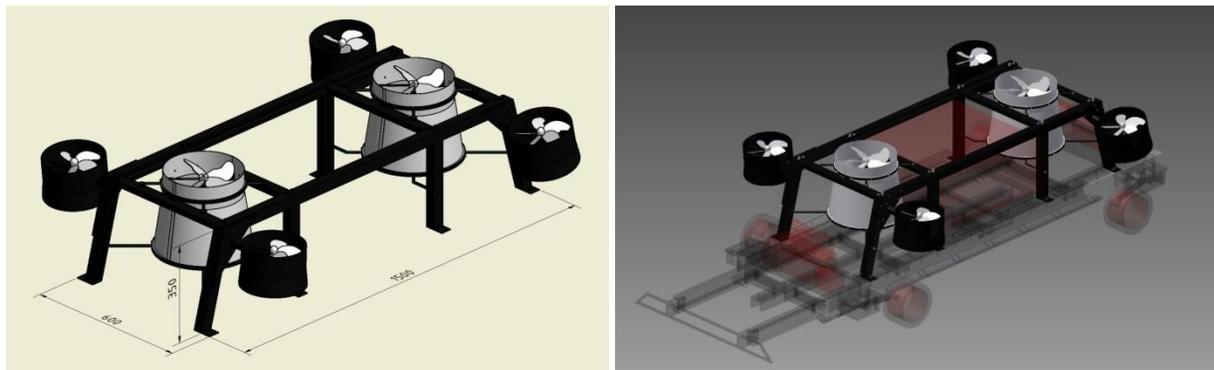


Abbildung 48: Propellerantriebs-Modul des EuRG.

Zur Lenkung des durch den großen Propeller beschleunigten Wassers dient der sogenannte Käfig (BTN: 112900-008-BT012), der aus in der Mitte geteilten, nach oben konisch zulaufenden Röhren besteht. Diese werden zum Käfig zusammengesetzt und mit einer unteren (BTN: 112900-008-BT013) und einer oberen Halterung (BTN: 112900-008-BT015), bestehend aus Aluminium, fixiert. Dabei wird die obere Halterung mit zwei der vier Querstreben (BTN: 112900-008-BT002) und die untere Halterung mit beiden Hauptträgern (BTN: 112900-008-BT001) verschraubt. Die Hälften des Käfigs bestehen selbst aus einem Kunststoff und weisen im Bereich der Halterungen Verdickungen auf, die mit Gewindebohrungen zur Befestigung ausgestattet sind. Zwischen den beiden Halterungen und den Hauptträgern bzw. den Querstreben sind Vibrationsdämpfer (BTN: 112900-008-BT014) in Form von einfachen Unterlegscheiben aus Gummi angebracht.

An den äußeren längsseitigen Ecken der Hauptträger ist jeweils eine Halterung (BTN: 112900-008-BT010) für die BG kleines Propeller-Modul (BGN: 112900-008-BG002) angeschraubt. Diese Halterung besteht aus einem dreieckigen Aluminiumblech und enthält außerdem ein aufgesetztes Rohr, in welches ein nicht spezifizierter Motor zur Verstellung der Abstrahlrichtung des kleinen Propeller-Moduls eingebaut wird. Aus diesem Grund kann sich der Rohrdurchmesser noch ändern. Somit ist es auch möglich, dass sich die Dimensionen des Gegenstückes zum erwähnten Rohr ändern. Das Gegenstück bildet dabei die kleine Propellerhalterung mit integriertem Käfig (BTN: 112900-008-BT008). Auch hier erfolgte die Auslegung

der einzelnen Komponenten, wie auch beim großen Propeller, nicht. Das heißt: Der kleine Propeller an sich (BTN: 112900-008-BT007), die Propellerwelle (BTN: 112900-008-009) sowie der dazugehörige Motor (BTN: 112900-008-011) können ihre Maße noch ändern. Das bewegliche kleine Propellerantriebs-Modul dient zur Fortbewegung des EuRG in der Wassersäule und hat zusätzlich die Aufgabe, bei der Erzeugung des benötigten Anpressdruckes an die Offshore-Gründungsstruktur mitzuhelfen.

Ernteauffang-Modul

Das Ernteauffang-Modul besteht aus 30 verschiedenen Komponenten und hat eine Gesamtanzahl von 192 BT. Eine Übersichtszeichnung ist in Abbildung , eine Auflistung der verschiedenen Komponenten mit dazugehörigem Werkstoff und der Masse in Tabelle zu finden. Die Gesamtmasse dieses Moduls beträgt etwa 19 kg.

Das Ernteauffang-Modul besteht aus insgesamt drei BG. Die erste Baugruppe (BGN: 112900-009-BG001) ist direkt auf den Querstreben (BTN: 112900-008-BT002) des Propellerantriebs-Moduls verschraubt. Dies geschieht mit den sogenannten Brücken für das Ernteauffang-Modul (BTN: 112900-009-BT001). Diese bestehen aus einem Aluminium-U-Profil. Auf den beiden mittleren Brücken ist jeweils ein Netzhalter (BTN: 112900-009-BT002) angebracht. Dieser besteht aus einem ringförmigen Aluminiumrohr und greift mit seiner Halterung direkt über die Brücke, um mit ihr verschraubt zu werden. Auf der Innenseite des Netzhalterringes liegt das sogenannte Unterteil des Muschelleitsystems (BTN: 112900-009-BT003) auf. Dieses ist nichts anderes als ein 90°-Ausschnitt eines Kunststoffrohres mit Verdickungen und Bohrungen an den Befestigungsstellen. Die Befestigung erfolgt mithilfe von entsprechenden Haltern (BTN: 112900-009-BT004). Das Unterteil des Muschelleitsystems hat die Aufgabe, die Muscheln in Richtung Absaugvorrichtung zu lenken und sie vor dem Wasserstrom der darunter liegenden großen Propeller zu schützen.

Tabelle 25: Auflistung der Bauteile des Ernteauffang-Moduls mit Werkstoff und Masse.

Anzahl	BT-Nummer	BT-Bezeichnung	Werkstoff	Masse
4	112900-009-BT001	Brücke	Aluminium	0,708 kg
2	112900-009-BT002	Netzhalter	Aluminium	1,260 kg
12	M6	Sechskantmutter	Stahl	0,004 kg
8	M6 x 55	ISO metrische Schraube	Stahl	0,015 kg
16	M6 x 16	ISO metrische Schraube	Stahl	0,006 kg
1	112900-009-BT003	Muschelleitsystem	Acetal-Kunststoff	3,612 kg
12	112900-009-BT004	Muschelleitsystemhalter	Acetal-Kunststoff	0,010 kg
24	M6 x 20	ISO metrische Schraube	Stahl	0,007 kg
1	112900-009-BT005	Anschlussflansch Absaugsystem	Aluminium	2,545 kg
10	M4x8	Senkschrauben mit Innensechskant	Stahl	0,001 kg
1	112900-009-BT006	Anschluss für Auszug	Aluminium	2,605 kg
1	112900-009-BT012	Trichter für Auszug	Gummi	0,491 kg
50	M4 x 10	ISO metrische Schraube	Stahl	0,002 kg
1	112900-009-BT013	Rahmen für Trichter	Aluminium	2,532 kg
4	M6 x 60	ISO metrische Schraube	Stahl	0,016 kg
1	112900-009-BT014	oberer Rahmen für Auszug	Aluminium	1,274 kg
1	112900-009-BT007	Ernteauffangtrichter unten	Aluminium	1,665 kg
1	112900-009-BT008	Ernteauffangtrichter oben	Aluminium	2,050 kg
2	M10 x 35	ISO - Metrische Innensechskantschraube	Stahl	0,035 kg
1	112900-009-BT009	Verjüngung	Gummi	1,051 kg
1	112900-009-BT010	Rahmen für Verjüngung	Aluminium	1,382 kg
1	112900-009-BT011	unterer Rahmen für Auszug	Aluminium	0,645 kg
2	M10	Sechskantmutter	Stahl	0,015 kg
2	M10 x 55	ISO metrische Schraube	Stahl	0,047 kg
1	112900-009-BT015	Auszug Teil 1	Polyethylen	1,373 kg
1	112900-009-BT016	Auszug Teil 2	Polyethylen	1,348 kg
1	112900-009-BT017	Auszug Teil 3	Polyethylen	1,377 kg
1	112900-009-BT018	Auszug Teil 4	Polyethylen	1,406 kg
1	112900-009-BT019	Auszug Teil 5	Polyethylen	1,513 kg
28	M4 x 8	ISO metrische Schraube	Stahl	0,002 kg

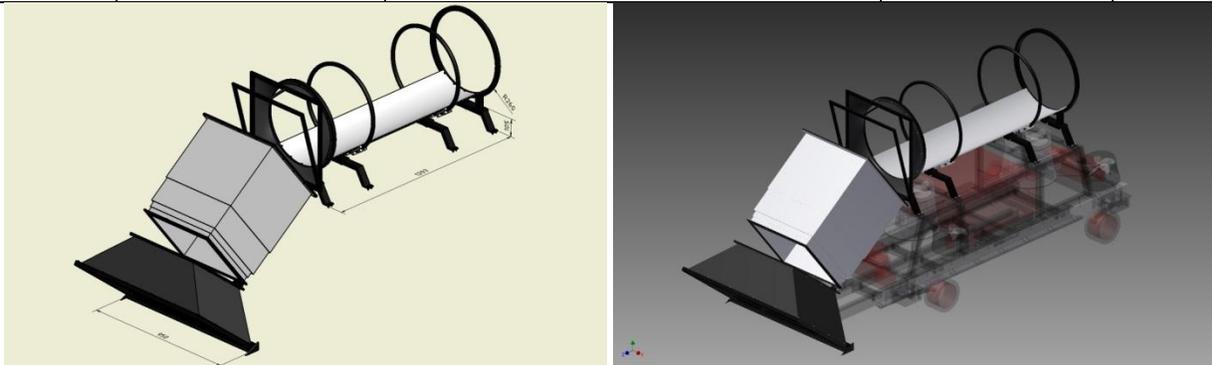


Abbildung 49: Ernteauffang-Modul des EuRG.

Auf der hintersten Brücke ist der Anschlussflansch (BTN: 112900-009-BT005) für die Absaugvorrichtung installiert. Dieser ist ein normaler Flansch, der zur Befestigung an der Brücke mit einem U-Profil ausgestattet ist. Auf der zum EuRG hin gerichteten Seite wird er zusätzlich mit dem Unterteil des

Muschelleitsystems verschraubt. Auf der vordersten Brücke ist ein ganz ähnlicher Flansch (BTN: 112900-009-BT006) angebracht. Zwischen den beiden Flanschen und dem Unterteil des Muschelleitsystems soll ein Netz (nicht dargestellt) gespannt werden, damit die Muschelernte in Richtung der Absaugvorrichtung geleitet wird. Zusätzlich dienen die beiden Netzhalter zur Fixierung des Netzes, das einen wichtigen Vorteil gegenüber einer wasserundurchlässigen Struktur bietet: Weil das EuRG (bis auf das Ausziehbare-Modul) komplett unter Wasser bleibt, kann durch das Netz ausreichend Wasser zur Absaugvorrichtung nachfließen und verhindert somit ihr Trockenlaufen.

Auf der anderen Seite des vorderen Flansches wird ein Trichter (BTN: 112900-009-BT012) angebracht, der von seiner quadratischen Form auf eine Kreisform zuläuft. Dieser besteht aus Gummi und wird auf seinen beiden Seiten durch Schraubverbindungen befestigt. An der quadratischen Seite des Trichters liegt der sogenannte Trichterrahmen (BTN: 112900-009-BT013) an, der hauptsächlich über einen Ausleger an der vorderen Brücke befestigt wird. Dieser Rahmen hat zudem noch einen zweiten Rahmen der etwas gedreht zum ersten ausgerichtet ist und den minimalen Winkel zum ausziehbaren-Modul (BGN: 112900-004-BG001) vorgibt. Die beiden Rahmen müssen an den Außenkanten z. B. mit einem Netz abgespannt werden, um die Ernte nicht zu verlieren. An der Vorderseite des Rahmens sind zudem zwei Scharniere angebracht, an die der obere Anschlussrahmen (BTN: 112900-009-BT014) für den Auszug des Ernteauffang-Moduls beweglich angebracht ist. Die bewegliche Anbringung ist erforderlich, da sich der Winkel zwischen der Front des Ausziehbaren-Moduls und des Ernteauffang-Moduls beim Ein- und Ausfahren ändert. Auch zwischen dem beweglich gelagerten Rahmen und seinem Gegenstück ist z. B. ein Netz erforderlich.

Die zweite BG des Ernteauffang-Moduls ist der Ernteauffangtrichter (BGN: 112900-009-BG002). Das Unterteil des Ernteauffangtrichters (BTN: 112900-009-BT007) ist dabei eine Schiene, die vorne an den Auszugsträgern befestigt wird und selbst eine Halterung für das Oberteil des Ernteauffangtrichters (BTN: 112900-009-BT008) besitzt. Beide BT sind aus Aluminium gefertigt. Das Oberteil selbst ist ein nach unten offener rechteckiger Rahmen, auf dessen Rückseite eine Verjüngung (BTN: 112900-009-BT009), ähnlich dem bereits erwähnten Trichter, verschraubt wird. Die Verjüngung ist nach unten hin offen und engt den rechteckigen Querschnitt des Rahmenoberteils auf einen quadratischen Querschnitt ein. An dem quadratischen Querschnitt schließt sich der Rahmen der Verjüngung (BTN: 112900-009-BT010) an. Dieser ist nach unten hin geschlossen. Der Bereich zwischen ihm und dem Unterteil des Ernteauffangtrichters muss z. B. mit einem Netz verschlossen werden. Dabei ist darauf zu achten, dass die Kopfplatte (BTN: 112900-004-BT004) des ausziehbaren-Moduls innerhalb des Netzes liegt. Der Rahmen ist hauptsächlich über zwei Auskragungen befestigt. Diese greifen im vorderen Bereich der Auszugsträger an. Zudem weist dieser Rahmen zwei Scharniere auf, an denen der untere Rahmen (BTN: 112900-009-BT011) des Auszuges beweglich montiert wird. Dieser ist vergleichbar mit dem bereits erwähnten oberen Rahmen (BTN: 112900-009-BT014) für den Auszug und ist aus demselben Grund beweglich gelagert.

Zwischen diese beiden Rahmen ist die dritte Baugruppe des Ernteauffang-Moduls installiert. Diese nennt sich Auszug (BGN: 112900-009-BGN003) und besteht aus fünf unterschiedlich großen Kastenelementen (BTN: 112900-009-BT015 bis 112900-009-BT019), die sich vergleichbar mit einer Schuttrutsche in- und auseinander bewegen lassen. Das unterste sowie das oberste Element sind zusätzlich mit einer im Außenbereich verlaufenden Lasche versehen, durch die Löcher zur Befestigung mittels Schrauben an den

Rahmen gebohrt wurden. Der Auszug wird beim Einsatz des ausziehbaren-Moduls zur Erntweiterleitung benötigt.

Steuerungs-Modul

Das Steuerungs-Modul dient dazu, die Befehle des EuRG-Piloten entgegenzunehmen, weiterzuverarbeiten und die entsprechenden Komponenten, wie z. B. Motoren, anzusteuern. Außerdem hat es die Aufgabe, Sensorsignale entgegenzunehmen, weiterzuverarbeiten sowie Daten an den EuRG-Piloten zu senden. Das Steuerungs-Modul existiert in diesem Entwurfs- und Planungsstadium des EuRG nur als Black Box, sodass die Zeichnung (BTN: 112900-007-BT001) nur eine Möglichkeit zu verwendender Außenmaße angibt (Abbildung). Bei der Masse wird von 25 kg ausgegangen.

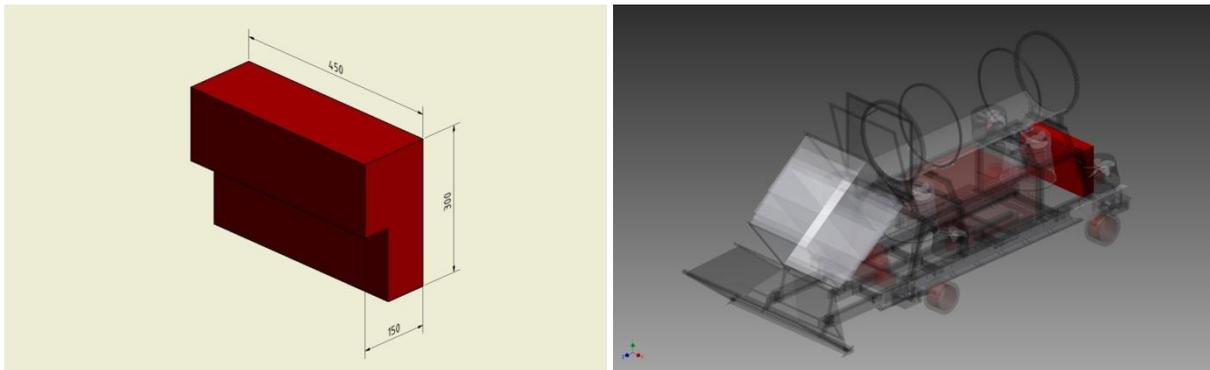


Abbildung 50: Steuerungs-Modul des EuRG.

Auftriebs-Modul

Das Auftriebs-Modul (Abbildung , BGN: 112900-010-BG001) wurde selbst komplett als Black Box gestaltet und zeigt lediglich vorstellbare Positionen in Relation zum Rest des EuRG an. Die Aufgabe des Auftriebs-Moduls besteht darin, das EuRG unter Wasser leichter und somit besser manövrierbar zu machen. Die Auftriebskörper lassen sich z. B. so auslegen, dass sich die Gewichtskraft des EuRG und seine Auftriebskraft unter Wasser gegenseitig aufheben, was einen schwerelosen Zustand des EuRG unter Wasser zur Folge hat.

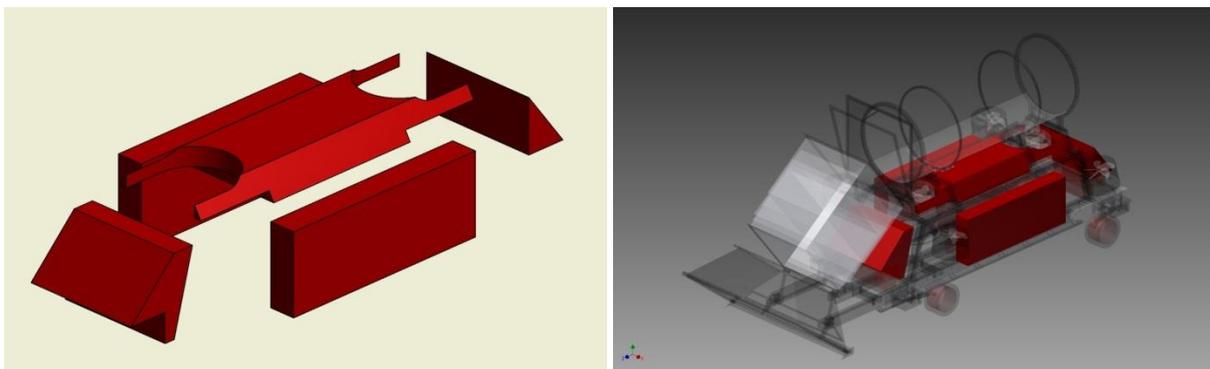


Abbildung 51: Auftriebs-Modul des EuRG.

Das Auftriebs-Modul besteht aus insgesamt fünf Auftriebskörpern, von denen zwei identisch sind. Auftriebskörper 1 (BTN: 112900-010-BT001) wird zwischen den beiden großen Propellern und unterhalb des Unterteils des Muschelleitsystems angebracht. Die zweite Form des Auftriebskörpers (BTN: 112900-

010-BT002) wird jeweils einmal links und rechts am EuRG zwischen den kleinen Propeller-Modulen installiert. Auftriebskörper 3 (BTN: 112900-010-BT003) wird im vorderen Bereich des EuRG unter dem Auszug des Ernteauffang-Moduls positioniert. Der letzte Auftriebskörper (BTN: 112900-010-BT004) findet sich am hinteren Ende schräg unterhalb des Anschlussflansches für die Absaugvorrichtung wieder.

Logistik

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Fragestellung, wie das grundsätzliche Verfahren mit dem Ernte- & Reinigungsgerät (EuRG) angedacht ist: Wie kommt das EuRG zum OWP, wie an jede einzelne OWEA, wie sind die Wege an der OWEA, wie ist der zeitliche Ablauf des Ernte- und Reinigungsprozesses und wie kommt das EuRG wieder zurück?

Vor Beginn des Ernte- & Reinigungsprozesses

Es ist geplant, den Ernte- & Reinigungsprozess zusammen mit dem Service an den Offshore-Gründungsstrukturen durchzuführen. Dies bedeutet, dass die jeweiligen Service-Schiffe genug Platz für das komplette Ernteequipment aufweisen müssen. Das Ernteequipment umfasst dabei das komplette EuRG, die Energieversorgungsleitungen und -schläuche, das komplette Absaugsystem, ein Netz zum Auffangen der Ernte, eine Hydraulikpumpe mit Betriebsstoffen (für den Betrieb des Kavitationsreinigungssystems), einen Stromgenerator mit Betriebsstoffen (wenn das Bordnetz des Schiffes nicht für den Betrieb des EuRG geeignet ist) und eine Person zur Steuerung des EuRG (EuRG-Pilot). Außerdem wird ein Bordkran auf dem Schiff benötigt, um das EuRG mit den Schläuchen und Leitungen ins Wasser zu befördern und auch wieder herauszuziehen. Zudem ist für diese beiden Vorgänge zusätzliches Personal erforderlich, das aufpasst, dass das EuRG z. B. nicht an die Bordwand des Schiffes schlägt. Diese Aufgabe könnte aber auch von den sowieso an Bord befindlichen Servicekräften übernommen werden.

Vor Beginn des Ernte- und Reinigungsvorganges steht die Verladung des gesamten Equipments an Bord des Service-Schiffes. Als Service-Schiff kann z. B. die „Wind Force I“ der Reederei „Frisia Offshore“ (die Spezifikationen des Katamarans sind in Anlage 1 einzusehen) genutzt werden. Das Schiff verfügt über einen Bordkran, der bei voller Auslage 1,5 t heben kann und außerdem über einen Stellplatz für einen 20 Fuß-Standardcontainer¹. Dieses Platzangebot reicht für das komplette Equipment aus (vgl. Abbildung). Auch der Bordkran scheint geeignet zu sein, das EuRG zu bewegen. Dieses wiegt in jetziger Form knapp 350 kg. Bleiben also noch über 1,1 t für den Schlauch des Absaugsystems.

¹ 20 Fuß-Standardcontainer haben die Außenmaße 6058 x 2438 x 2438 mm (Länge x Breite x Höhe) und die Innenmaße 5867 x 2330 x 2197 mm (Länge x Breite x Höhe). [DIN ISO 668]

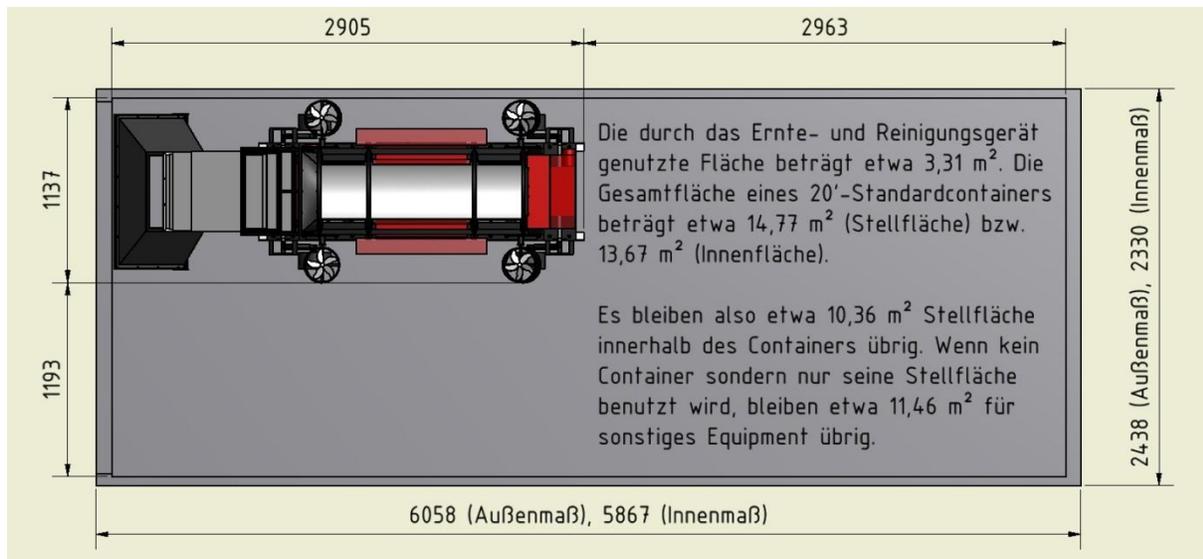


Abbildung 52: Schematische Darstellung des EuRG innerhalb eines 20 Fuß-Standardcontainers (Draufsicht).

Nach Verladung des kompletten Ernte- und Reinigungssystems kann das Schiff Richtung OWP aufbrechen. Dort angekommen, wird zuerst das Service-Personal auf die OWEA übergesetzt. Danach kann das EuRG mit Absaugschlauch unter Zuhilfenahme des Bordkrans ins Wasser gehoben werden. Hierfür sind, wie bereits erwähnt, noch zwei bis drei weitere Personen nötig, die das EuRG so führen, dass es möglichst ruhig am Kran hängt und nicht ins Pendeln gerät.

Andockvorgang

Ist das EuRG im Wasser, kann der EuRG-Pilot mit der Ansteuerung der Gründungsstruktur der OWEA beginnen. Dazu werden die vier äußeren, verstellbaren Propeller genutzt. Die Gründungsstruktur wird in der Nähe des Boatlandings an einem Punkt angesteuert, an dem nicht allzu viel mariner Bewuchs vorhanden ist. Ist eine geeignete Stelle gefunden, dreht sich das EuRG aus der horizontalen in eine vertikale Position. Dann wird der Abstand zur Struktur langsam und vorsichtig verringert, bis die Räder des EuRG Kontakt zu ihr haben. Die kleinen Propeller dienen nun zur Erzeugung des Anpressdruckes an die Gründungsstruktur und dürfen nicht abgeschaltet werden.

Alternativ könnten die Auftriebskörper am EuRG so angebracht werden, dass sie alle oberhalb seines Schwerpunktes liegen. Dies hätte zur Folge, dass das EuRG sobald es sich im Wasser befindet in eine vertikale Position kommt und nicht erst vor der Gründungsstruktur in die Vertikale gedreht werden muss. Somit wäre bei dieser Variante mit Zeiteinsparungen beim Andockvorgang zu rechnen.

Während des Ernte- & Reinigungsprozesses

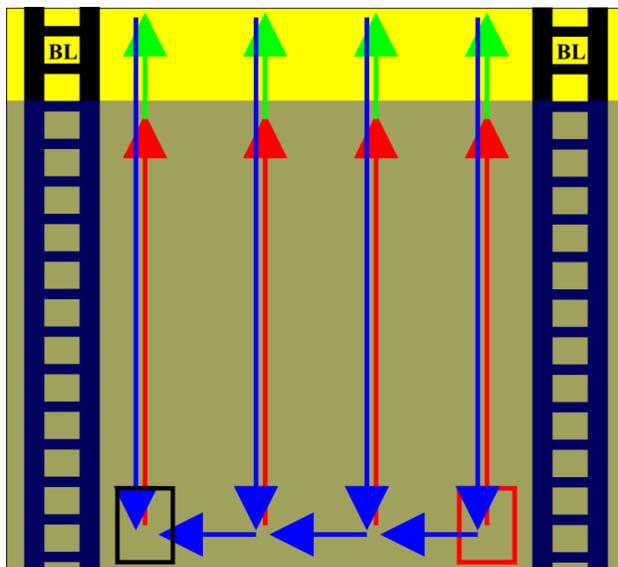
Nachdem das EuRG fest an die Gründungsstruktur gedrückt wird, können das Kavitationsreinigungsgerät sowie die sich an Bord des Schiffes befindende Absaugvorrichtung gestartet werden. Außerdem beginnt der EuRG-Pilot damit, die Struktur mit dem EuRG abzufahren. Dies geschieht senkrecht in Richtung der Wasseroberfläche. Kurz unter der Wasseroberfläche wird der Radantrieb des EuRG gestoppt und die beiden großen Propeller werden zur Steigerung des Anpressdruckes an die Struktur in Betrieb genommen. Außerdem erfolgt eine Umstellung auf die Hochdruckreinigungsdüse. Nachdem der nötige Anpressdruck aufgebaut ist, beginnt der EuRG-Pilot damit das ausziehbare-Modul des EuRG auszufahren.

Ist die maximale Auszugslänge (1,5 m) erreicht, wird das Kavitationsreinigungsgerät abgeschaltet, sodass mit den am EuRG angebrachten Kameras die optische Überprüfung der Beschichtung sowie der Schweißnähte durchgeführt werden kann. Dazu werden das ausziehbare-Modul wieder eingefahren, die großen Propeller abgeschaltet und das EuRG mithilfe des Radantriebs denselben Weg, auf dem es an der Struktur emporgefahren ist, zurückgefahren. Am tiefsten Punkt werden die Räder des EuRG mit dem Höhenverstellungsmechanismus ausgefahren. Danach erfolgt ihre Drehung um 90° und die anschließende seitliche Versetzung des gesamten EuRG. Seitlich versetzt wird so weit, dass sich die Reinigungsbereiche leicht überlappen. Anschließend drehen die Räder wieder in ihre Ausgangsposition und der Abstand des EuRG zur Struktur wird mit der Höhenverstellung wieder verringert. Nach der Umstellung auf die Kavitationsreinigungsdüse beginnt der Ernte- und Reinigungsvorgang von Neuem und wiederholt sich so lange, bis die komplette Struktur gereinigt und abgefahren wurde (vgl.

Abbildung).

Bei dem seitlichen Versetzen des EuRG an der Gründungsstruktur muss gewährleistet werden, dass sich seine Versorgungsleitungen sowie der Absaug Schlauch nicht verdrehen oder sich um die Gründungsstruktur wickeln. Eine Lösung ist das Nachrücken des Service-Schiffes, welchen sich dann mit dem EuRG um nahezu 360° um die OWEA bewegen muss.

Die abgeernteten Muscheln werden bei diesem Vorgang mit dem Ernteauffang-Modul aufgenommen und anschließend mit der Absaugvorrichtung in ein Netz, das am Schiff befestigt ist, oder aber direkt an Bord des Schiffes befördert.



Legende:

- Andockpunkt
- ▶ Reinigung unter Wasser
- ▶ Einsatz der ausfahrbaren Einheit
- ▶ Rückfahrt (ohne Reinigung)
- Abdockpunkt
- BL** Boatlanding

Abbildung 53: Schematische Darstellung des Wegekonzeptes an der Abwicklung des Zentralrohr eines Tripods.

Abdockvorgang

Nachdem die komplette Struktur gereinigt und der marine Bewuchs von ihr abgeerntet wurde, beginnt der Abdockvorgang. Dazu sind das Kavitationsreinigungsgerät sowie die Absaugvorrichtung abzuschalten. Das EuRG bewegt sich langsam mithilfe der vier kleinen Propeller von der Gründungsstruktur weg und dreht sich bei ausreichendem Abstand von der Vertikalen in die Horizontale und navigiert zurück zum Service-Schiff.

Bei der alternativen Anbringung der Auftriebskörper bleibt das EuRG in der vertikalen Position und navigiert direkt zum Service-Schiff zurück.

Nach Beendigung des Ernte- & Reinigungsprozesses

Ist das EuRG am Service-Schiff angelangt, wird es unter Zuhilfenahme des Bordkrans an Deck gehievt. Den Hebevorgang müssen wieder zwei bis drei Personen überwachen und steuern, damit das EuRG nicht ins Pendeln gerät und sicher an Bord des Schiffes abgestellt werden kann. Auch die Muscheln müssen, wenn sie nicht sofort auf das Schiff befördert wurden, zusammen mit ihrem Netz auf das Schiff gehoben werden.

Ist das Service-Personal mit der OWEA fertig, erfolgt die Abholung mit dem Schiff. Danach kann die nächste OWEA angesteuert werden und der gesamte Prozess beginnt von neuem.

Nachdem alle zu wartenden OWEA abgearbeitet wurden, fährt das Service-Schiff mit den Muscheln an Bord zurück in den Hafen. Hierauf erfolgt die Vermarktung und Weiterverarbeitung der Muscheln.

3. Zusätzliche Informationen zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Korrosionsschäden

Die jährlichen Kosten, die direkt durch Korrosion verursachten Schäden, beliefen sich nach einer Studie der NACE International aus 2002 allein in den USA auf ca. 276 Mrd. US-\$. Auf Deutschland bezogen beträgt der Schaden ca. 60 Mrd. € /Plag09/.

Anhand dieser Zahlen soll verdeutlicht werden, dass die erforderlichen Maßnahmen für den Korrosionsschutz bereits bei der Planung bzw. bei der Fertigung berücksichtigt werden müssen.

In der Abbildung 54 sind die relativen Kosten für Korrosionsschutz- Beschichtungssysteme für Offshore-Windenergieanlagen in Abhängigkeit des Standorts dargestellt. Die relativen Kosten bei der Applikation des Beschichtungssystems bei der Herstellung von Gründungsstrukturen stellen den Faktor 1 dar.

Abbildung 54 zeigt deutlich, dass eine fehlerhafte Auswahl oder mangelhafte Applikation des Korrosionsbeschichtungssystems unvorhersehbare Folgen bzw. Kosten verursachen kann. Durch eine intelligente Planung und Ausführung lassen sich diese vermeiden.

Die relativen Kosten für Beschichtungsreparaturen an Land, also für Onshore-Strukturen, liegen bei dem Zehnfachen der aufgetragenen Kosten die beim Neubau einer Anlage angefallen sind. Die relativen Kosten für eine Reparatur an Offshore-Windenergieanlagen sind mit dem Faktor 75 im Gegensatz zum Neubau veranschlagt /Momb10/.

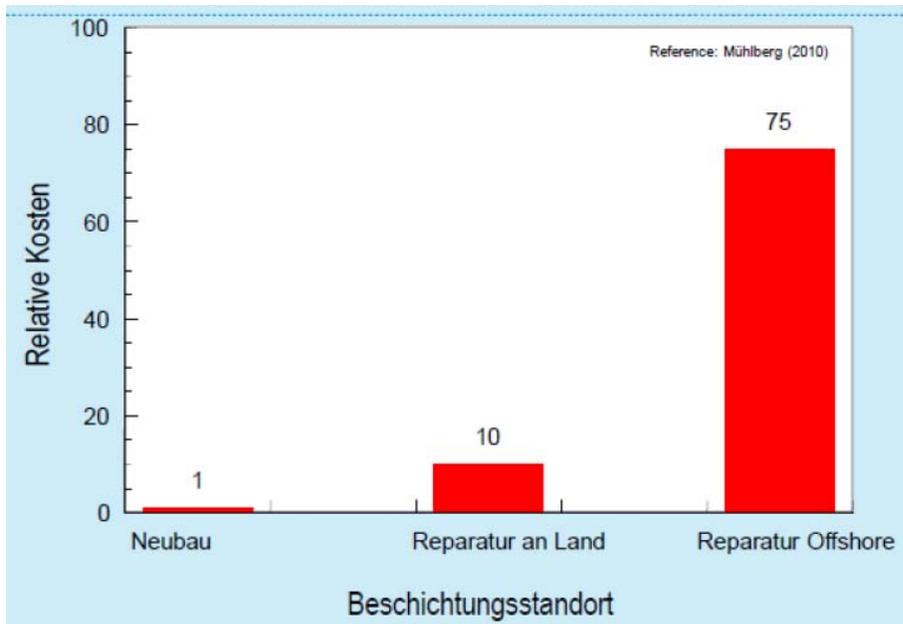


Abbildung 54: Kosten für Korrosionsschutzbeschichtungssysteme für Offshore Windenergieanlagen /Momb10

Bei den Logistikbetrachtungen wurden auf Basis des fertiggestellten Konzeptentwurfs des EuRG grundsätzliche Lösungen zu folgenden Fragestellungen erarbeitet: Wie kommt das EuRG zum OWP? Wie gelangt das EuRG an die einzelnen Offshore-Windenergieanlagen (OWEA)? Wie sind die Wege an der OWEA? Wie ist der zeitliche Ablauf des Ernte- und Reinigungsprozesses? Wie kommt das EuRG wieder zurück an Land?

Zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird das erstellte Tabellenkalkulations-Tool genutzt. Betrachtet wird dabei der vorgestellte Fall: Der gleichzeitig mit dem regulären Service an den OWEA stattfindende Ernte- und Reinigungsprozess. In Tabelle 26 sind die Eingangsgrößen des Tools zu erkennen, welche im Folgenden näher erklärt werden. Es wird ein OWP, wie z. B. „Alpha Ventus“, betrachtet. Dieser hat insgesamt zwölf OWEA, von denen sechs auf Tripods gegründet sind. Die Zentralrohre der Tripods haben einen Durchmesser von etwa 6 m und weisen eine Breite von ungefähr 2 m für das Boatlanding auf. Gefordert wird die Reinigung in einem 10 m-Bereich am Zentralrohr der Tripods. Aus diesen Angaben berechnet das Tool die zu reinigende Fläche. Die Ernte- & Reinigungsdauer inklusive der Aussetz- und Einholddauer des EuRG soll idealerweise nicht mehr als drei Stunden betragen und wird erst einmal auch mit drei Stunden angenommen. Die Anfahrtsdauer mit dem Service-Schiff, welches eine Geschwindigkeit von 25 kn (46,3 km/h) aufweist, wird mit 3 h ausreichend groß bemessen, da sich der Windpark etwa 45 km von Borkum entfernt befindet und das Schiff auch von dort startet. Die Fahrtdauer von einer OWEA zum nächsten wird mit einer viertel Stunde angenommen und ist ausreichend groß bemessen, da die einzelnen OWEA in etwa einem Kilometer Entfernung voneinander aufgestellt sind.

Tabelle 26: Eingangsparameter des Tools zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Eingangsparameter		
	Wert	Einheit
zu den Gründungsstrukturen		
Anzahl der Gründungsstrukturen	6,00	Einheiten
Durchmesser der Gründungsstrukturen	6,00	m
Breite des Boatlandings	2,00	m
zu reinigende Höhe je Gründungsstruktur	10,00	m
Prozessdauer je Gründungsstruktur	3,00	h
zum eingesetzten Schiff, der Bedienmannschaft des EuRG und zum EuRG		
Anfahrtsdauer	3,00	h
Fahrtdauer zur nächsten Anlage	0,25	h
Schiffskosten je Stunde	0,00	€/h
Anzahl des für das EuRG notwendigen Personals	1,00	Personen
Durchschnittlicher Stundenlohn des Personals	50,00	€/h
Durchschnittlicher Energieverbrauch des EuRG und der Absaugvorrichtung	25,00	kW
Energiekosten	0,25	€/kWh
zu den Miesmuscheln		
Breite des Miesmuschelteppichs je Gründungsstruktur	4,00	m
durchschnittliches Muschelgewicht je Quadratmeter	20,00	kg/m ²
durchschnittlicher Anteil der Direktvermarktung	0,50	-
durchschnittlicher Anteil des Miesmuschelausschusses	0,10	-
Preis je Kilogramm bei Direktvermarktung	1,50	€/kg
Preis je Kilogramm bei Weiterverarbeitung	0,75	€/kg

Die Schiffskosten je Stunde werden mit Null Euro angenommen, da das Service-Schiff sowieso zum OWP fährt und sie auch ohne EuRG an Bord angefallen waren. Das zusätzlich benötigte Personal wird mit einer Person angegeben und besteht aus dem EuRG-Piloten. Um das EuRG ins Wasser zu lassen und wieder herauszuheben, werden zwar zusätzliche Personen benötigt, diese können jedoch auch durch das sowieso an Bord befindliche Personal gestellt werden. Das Bruttogehalt des Erntepersonals wird dabei mit 50 € Brutto berechnet. Auch der Energieverbrauch des EuRG fließt in die Rechnung mit ein und wird erst einmal mit 25 kW, bei einem Energiepreis von 0,25 €/kWh, angenommen. Die Breite des Miesmuschelteppichs wird mit 4 m bei durchschnittlich 20 kg/m² (gemessen wurde am Jacket der „FINO 1“-Plattform etwa 40 kg/m²) angenommen. Der Miesmuschelanteil, der Ausschuss ist, wird mit 10 % angenommen. Dieser Wert wurde aufgrund des Tests mit dem Kavitationsreinigungsgerät festgelegt. Die Hälfte der Miesmuscheln wandert direkt in den Handel. Der Rest von ihnen (40 %) eignet sich zur Weiterverarbeitung, z. B. zu Fischmehl. Diese Annahmen stammen aus folgenden Überlegungen: Die größten Miesmuscheln sind 1,5 bis 2 Jahre alt und haben durch ihre Größe ein entsprechend hohes Gewicht. Sie sitzen aber, durch ihr Alter bedingt, sehr dicht an oder direkt auf der Oberfläche der Gründungsstruktur. Miesmuscheln aus jüngeren Generationen setzen sich schichtweise auf den älteren Generationen ab (bei zweijährigen Reinigungszyklen können sich vier bis sechs Schichten verschiedener Miesmuschelgenerationen an den Gründungsstrukturen ansiedeln). Die jüngeren Miesmuschelgenerationen weisen nicht die entsprechende Größe auf, um direkt vermarktet zu werden, sind aber aufgrund der größeren Ansiedelungsfläche (durch die Muschelschichten darunter)

zahlreicher, als ältere marktreife Miesmuscheln. Die nicht marktreifen jungen Generationen eignen sich zwar nicht für den Direktverkauf an der Ladentheke, zur Fischmehlproduktion können sie jedoch trotzdem eingesetzt werden. Die Gewichtsanteile von jungen zu alten Miesmuschelgenerationen liegen wahrscheinlich etwas dichter bei der älteren Generation (deshalb 50 % Direktvermarktung und 40 % Weiterverarbeitung). Der Absatzpreis je Kilogramm Miesmuscheln bei der Direktvermarktung wird mit 1,50 € angenommen. Der zu erzielende Kilopreis bei Weiterverarbeitung der Muscheln wird mit der Hälfte (0,75 €) angenommen.

Die Ergebnisse der Berechnung sind in Tabelle 27 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass in diesem Fall den Ausgaben von etwa 1400 €, Einnahmen von etwa 8500 € entgegenstehen, was einem Plus von ungefähr 7100 € entspricht. Der Einsatz des EuRG von 18 h kann nicht am Stück erfolgen, wenn nicht noch ein zweiter EuRG Pilot mit an Bord des Service-Schiffes ist. In diesem Fall wurde sich ein Plus von etwa 5850 € ergeben. Bei einem Einsatz an nur zwei Gründungsstrukturen (Gesamtdauer des EuRG-Einsatzes = 6 h) ergibt sich ein Plus von etwa 2200 €. Bei einem Einsatz an nur einer Gründungsstruktur beträgt das Plus etwa 950 €.

Tabelle 27: Ergebnisse des Tools zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Ergebnisse			
allgemeines		zu den Muscheln	
zu reinigende Fläche je Gründungsstruktur	168,50 m ²	Gesamtfläche des Miesmuschelteppichs	404,39 m ²
gesamte zu reinigende Fläche	1.010,97 m ²	Gesamtgewicht der Miesmuscheln	8.087,79 kg
Gesamtdauer Schiffsnutzung	25,25 h	Gewicht des Muschelausschusses	808,78 kg
Gesamtdauer des EuRG-Einsatzes	18,00 h	Gewicht der direkt vermarkteten Muscheln	4.043,89 kg
		Gewicht der weiterverarbeiteten Muscheln	3.235,11 kg
Ausgaben		Einnahmen	
Schiffskosten	0,00 €	Erlös direkt vermarktete Muscheln	6.065,84 €
Personalkosten	1.262,50 €	Erlös aus weiterverarbeiteten Muscheln	2.426,34 €
Energiekosten des EuRG	112,50 €	Gesamteinnahmen	8.492,18 €
Gesamtausgaben	1.375,00 €		

Gegenüberstellung der Einnahmen & Ausgaben:	Einnahmen =	8.492,18 €
	Ausgaben =	1.375,00 €
	Guthaben =	7.117,18 €

In Abbildung 55 wird ein Diagramm gezeigt, dass die Wirtschaftlichkeit der Miesmuschelernte im Fall einer Kooperation mit dem durchzuführenden Service an den grafisch darstellt. Dabei ist der Gewinn in Abhängigkeit von der Anzahl der zu reinigenden Gründungsstrukturen und dem benötigten Personal dargestellt. Alle anderen Eingangsgrößen sind gleich geblieben (vergleiche Tabelle 26). Zu erkennen ist, dass selbst bei einem Personal von zwei Leuten etwas Gewinn zu erzielen ist. Der Gewinn steigt dabei mit der Anzahl der abzuerntenden Offshore-Gründungsstrukturen linear an.

Anzahl der Gründungsstrukturen

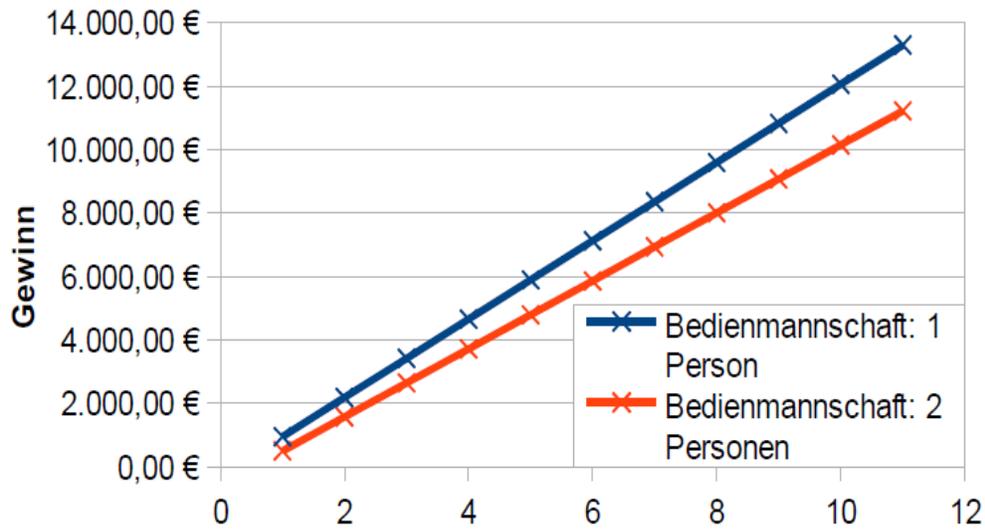


Abb. 55: Grafische Darstellung des Gewinnes der Miesmuschelernte in Abhängigkeit von der Anzahl der zu reinigenden Gründungsstrukturen, dem dazu benötigten Personal sowie den anderen Eingangsgrößen aus Tabelle 26.

Formelzeichen

Formelzeichen	Einheit	Beschreibung
D	m	Rohrdurchmesser
L	m	Wellenlänge
H	m	Wellenhöhe
H_s	m	signifikante Wellenhöhe
d	m	Wassertiefe
g	m/s^2	Gravitationskonstante
ξ	m	Wellenamplitude
ν	m^2/s	kinematische Viskosität
ρ	kg/m^3	Dichte
T	s	Wellenperiode
z	m	Vertikale Koordinate mit Ursprung des LAT
F_{max}	N	maximale Wellenkraft
C_D	-	Strömungswiderstandskoeffizient
C_M	-	Massenträgheitskoeffizient
U	m/s	Partikelgeschwindigkeit
\dot{u}	m/s^2	Partikelbeschleunigung
ω	rad/s	Winkelgeschwindigkeit
a	m	Amplitude

Literatur

- Dr. Norbert Schwieters, Dr. Thomas Ull, Ronny Meyer. www.pwc.de. www.wab.net. [Online] Januar 2012. [Zitat vom: 23. April 2012.]
http://www.wab.net/images/stories/PDF/studien/Volle_Kraft_aus_Hochseewind_PwC_WAB.pdf.
- wab - windenergie agentur . www.wab.net. [Online] Juni 2011. [Zitat vom: 27. April 2012.]
http://wab.net/images/stories/PDF/offshore/WAB_Offshorekarte_A4_NordseeDE_06-2011.pdf.
- wab - windenergie agentur. www.wab.net. [Online] Juni 2011. [Zitat vom: 27. April 2012.]
http://wab.net/images/stories/PDF/offshore/WAB_Offshoretabelle_A4_Nord-OstseeDE_06-2011.pdf.
- AFP/dpa/cb. Berliner Morgenpost. [Online] 11. November 2011. [Zitat vom: 27. April 2012.]
<http://www.morgenpost.de/wirtschaft/article1828722/Offshore-Windparks-verursachen-Kostenexplosion.html>.
- FINO 3. FINO 3. [Online] [Zitat vom: 18. April 2012.]
http://www.fino3.de/joomla15/index.php?option=com_content&view=article&id=213&Itemid=428.
- Lesny, Kerstin. *Gründung von Offshore-Windenergieanlage - Werkzeuge für Planung und Bemessung* -. Essen : VGE Verlag GmbH, 2008.
- Statoil. Statoil. [Online] Dezember 5, 2011. [Cited: April 19, 2012.]
<http://www.statoil.com/en/TechnologyInnovation/NewEnergy/RenewablePowerProduction/Offshore/Hywind/Pages/HywindPuttingWindPowerToTheTest.aspx>.
- Joschko, Tanja J., et al. Colonization of an artificial hard substrate by *Mytilus edulis* in the German Bight. *Marine Biology Research*. 2008, 4: 350-360.
- Orejas, C, et al. Ökologische Begleitforschung zur Windenergienutzung im Offshore-Bereich auf Forschungsplattformen in der Nord- und Ostsee (BeoFINO) - Endbericht. 333 pp, 2005.
- Krone, R. *Mariner Bewuchs im Alpha Ventus*. [Foto] Alpha Ventus : data diving, 2012.
- Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH). Standard - Konstruktive Ausführung von Offshore-Windenergieanlagen. Hamburg und Rostock : BSH, 2007. BSH-Nr. 7005.
- Yan, T und Yan, WX. Fouling of Offshore Structures in China - a Review. *Biofouling* 19:133-138. 2003.
- Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH). Naturverhältnisse in der Ostsee. Hamburg und Rostock : BSH, 1996.
- S. Mai, C. Paesler, C. Zimmermann. *Wellen und Seegang an Küsten und Küstenbauwerken mit Seegangs atlas der Deutschen Nordseeküste*. Hannover : Lehrstuhl für Wasserbau und Küsteningenieurwesen, FRANZIUS-INSTITUT, Universität Hannover, 2004.
- Gudmestad, O.T. Skript "Wave Loads". Stavanger, Norwegen : s.n., 2010.
- Dipl.-Ing. K. Mittendorf, Dr. rer. nat. B. Nguyen, Prof. Dr.-Ing. W. Zielke. *Seegang und Seegangsbelastung - 2. Gigawind-Symposium*. s.l. : Gigawind, 2002.
- Tony Burton, Nick Jenkins, David Sharpe, Bossanyi. *Wind Energy Handbook 2nd ed*. Chichester : Wiley, 2011.

Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH). BSH.de. [Online] BSH, März 2009. [Zitat vom: 7. Mai 2012.] <http://www.bsh.de/de/Produkte/Infomaterial/Seekartennull/InfoLAT.pdf>.

Germanischer Lloyd. Guideline for the Certification of Offshore Wind Turbines. *Rules and Guidelines - Industrial Services*. Hamburg : Germanischer Lloyd WindEnergie GmbH, 2008.

Det Norske Veritas AS. Offshore Standard DNV-OS-J101 - Design of Offshore Wind Turbine Structures. Oslo : DNV, 2011.

GmbH, WeserWind. *OFE-Projekt*. Bremerhaven : s.n., 2009.

Wagner, P. *Meerestechnik*. Berlin : Ernst & Sohn, 1990.

Heitz, E., Flemming, H.-C. und (Eds.), W.Sand. *Microbially Influenced Corrosion of Materials - Scientific and Engineering Aspects*. Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, 1996. 3-540-60432-4.

Arbeitsausschuss "Ufereinfassungen". *Empfehlungen des Arbeitsausschusses "Ufereinfassungen" Häfen Und Wasserstraßen EAU 2004*. Hamburg : Wilhelm Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, 2004.

Ahre07/ Ahrens, C., Zwätz, R.: Schweißen in bauaufsichtlichen Bereichen, Fachbuchreihe Schweißtechnik Band 94, DVS Verlag GmbH Düsseldorf, 2007

Brau10/ Braun, K.-P.: GSI SLV Dusiburg, M4 – Auswirkung der Umgebung auf das Bauteil, 2010

Bitt10/ Bittner W.: GSI SLV Dusiburg, M3 – Auswahl und Bearbeitung der Oberfläche für entsprechende Beschichtungen, 2010

DIN50902/ DIN 50902:1994-07

Schichten für den Korrosionsschutz von Metallen; Begriffe, Verfahren und Oberflächenvorbereitung /Down12/
<http://www.forumsondermaschinenbau.de/bilder/ Spannungsreihe.gif> , Download 29.03.2012, 15:14 Uhr

Glwi05/ Germanischer Lloyd: Guideline for the Certification of Offshore Wind Turbines Edition 2005

Glwi07/ Germanischer Lloyd: GL IV 2007, Part 6, Section D, Corrosion Protection, page 6-25,

Grot07/ Grote, K.-H., Feldhusen, J.: *Dubbel*, 22. Auflage, Springer Verlag, 2007

Hein11/ Heins, O.: *Korrosionsschutz von Offshore-Windenergieanlagen*, 2011, Quellenverzeichnis 98