

Berichte

zur Polar-
und Meeresforschung

412

2002

**Reports
on Polar and Marine Research**



**Open Ocean Aquaculture und Offshore Windparks.
Eine Machbarkeitsstudie über die multifunktionale
Nutzung von Offshore-Windparks und Offshore-
Marikultur im Raum Nordsee**

Bela Hieronymus Buck

**A
5186**

ALFRED-WEGENER-INSTITUT FÜR POLAR- UND MEERESFORSCHUNG

Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research

D-27568 BREMERHAVEN

Bundesrepublik Deutschland – Federal Republic of Germany

Erstellt von

Bela Hieronymus Buck

Stiftung Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung

Am Handelshafen 12

D-27570 Bremerhaven

Email: bbuck@awi-bremerhaven.de

Diese Studie wurde im Auftrag des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven erstellt.

Inhaltsangabe

Zusammenfassung	7
Abstract	9
Danksagung und Diskussionspartner	11
Einleitung	14
Teil I Review über Open Ocean Aquaculture	17
1.0 Anfang und Entwicklung der Aquakultur	18
1.1 Ursprung der Aquakultur: Han-Dynastie	18
1.2 Unterteilung und Betreuung der Systeme	19
1.3 Produktion: Weltweit – Europa – Deutschland	20
1.4 Die Problematik	24
1.5 Ein möglicher Ausweg: Open Ocean Aquaculture	27
2.0 Besatz und Zucht	32
2.1 Brut	32
2.2 Anforderung	33
2.3 Fütterung	34
2.4 Ernte	35
3.0 Technik	37
3.1 Anforderungen	37
3.1.1 Aquatische Umgebung	37
3.1.2 Technisches Gerät	37
3.1.3 Standort	38
3.2 Forschung	39
3.3 Käfig-Design: Unterteilung in verschiedene Typen	41
3.3.1 Klasse I Käfige	42
3.3.2 Klasse II Käfige	43
3.3.3 Klasse III Käfige	45
3.3.4 Klasse IV Käfige	49

3.3.5 Weitere Käfige	50
3.3.6 Käfigvergleich der Klassen I-IV	51
3.4 Leinen und Netze	54
3.5 Verankerungssysteme	56
3.6 Strömungsbrecher	59
3.7 Futterautomaten, Silos und Kanonen	59
3.8 Andere technische Geräte	62
4.0 Pflege der Systeme und Vermeidung von Krankheiten	64
4.1 Pflege	64
4.1.1 Biofouling	64
4.1.2 Abfallstoffe	65
4.2 Krankheiten	67
4.2.1 Streß	67
4.2.2 Krankheitsursachen	67
4.2.3 Behandlung	68
5.0 Sicherheit	70
5.1 Sicherheit für Säuger	70
5.2 Sicherheit für die Anlage	72
5.3 Flucht des Besatzes	73
6.0 Projekte und multifunktionale Nutzung	74
6.1 Projekte weltweit	74
6.1.1 Projekte und Studien: OOA-Anlagen	74
6.1.2 Projekte und Studien mit Kandidaten: Fisch	79
6.1.3 Projekte und Studien mit Kandidaten: Muscheln	81
6.1.4 Projekte und Studien mit Kandidaten: Crustaceen	82
6.1.5 Projekte und Studien mit Kandidaten: Algen	83
6.2 Nutzbarkeit von bereits vorhandenen Offshore-Anlagen	84
6.2.1 Plattform-Aquakultur	84
6.2.2 Andere Kombinationen	89

Teil II Machbarkeitsstudie für den Raum Nordsee	90
1.0 Standorte	91
1.1 Karte	92
1.2 Erforderliche Daten	94
1.2.1 Daten für die Deutsche Bucht	95
1.2.2 Daten und Standorte der Windparks im Raum Nordsee	100
2.0 Besatz	107
2.1 Algen	107
2.1.1 Verwendung	107
2.1.2 Kandidaten	110
2.1.3 Aquakultur mit Makroalgen	113
2.1.3.1 <i>Laminaria</i>	113
2.1.3.2 <i>Palmaria</i>	114
2.1.3.3 Aufwand und Pflege der Makroalgenkultur	115
2.2 Muscheln	117
2.2.1 Verwendung	117
2.2.2 Kandidaten	117
2.2.3 Aquakultur mit Muscheln	118
2.2.3.1 Miesmuscheln	118
2.2.3.2 Austern	120
2.2.3.3 Aufwand und Pflege der Miesmuschelkultur	121
2.2.3.4 Aufwand und Pflege der Austernkultur	124
2.3 Hummer	124
2.4 Fische	127
2.4.1 Verwendung	127
2.4.2 Kandidaten	127
3.0 Technik und Equipment	130
3.1 Leinen	130
3.1.1 Halteleinen	130
3.1.2 Kulturleinen	131

3.2	Auftriebskörper	133
3.3	Verankerung	134
3.4	Kultursysteme	136
3.4.1	Langleine	136
3.4.2	Offshore-Ring	137
3.4.3	Austernkästen und –käfige	138
3.4.4	Stahlkonstruktion	138
4.0	Rechtsprechung	145
4.1	Innerhalb der 12-Seemeilenzone: Das Küstenmeer	146
4.1.1	Nutzung von Wasserflächen	147
4.1.2	Nationalparks	148
4.1.2.1	Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer	149
4.1.2.2	Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer	151
4.1.2.3	Nationalpark Hamburgisches Wattenmeer	153
4.2	Außerhalb der 12-Seemeilenzone	154
4.3	Weitere Gesetze und Verordnungen	156
4.3.1	Bundesnaturschutzgesetz und Umweltrecht	156
4.3.2	Flora-Fauna-Habitate und Vogelschutzgebiete	158
4.3.3	Bundesberggesetz	159
4.3.4	Muschel- & Fischhygieneverordnung	159
4.3.5	Seeanlagenverordnung	160
4.3.6	Voruntersuchungen	160
5.0	Logistik und Infrastruktur	162
5.1	Ständig benötigte Infrastruktur	162
5.2	Zusätzlich benötigte Infrastruktur vor dem Ausbringen des Besatzes	167
5.3	Zusätzlich benötigte Infrastruktur für die Ernte und die Behandlung der Ernte	169

Teil III Marktabschätzung/-analyse und Kosten der nach Teil II geeigneten Kandidaten	171
1.0 Marktanalyse	172
1.1 Globalwirtschaftliche Tendenzen des Fisch- und Muschelkonsums	173
1.1.1 Der europäische Raum	174
1.1.2 Der mediterrane Wirtschaftsraum	175
1.1.3 Der nicht-europäische mediterrane Wirtschaftsraum	179
1.1.4 Der nordeuropäische Wirtschaftsraum	180
1.1.4.1 Implikationen für den Nordseeraum - Muschelwirtschaft in Deutschland	183
1.1.4.2 Versorgung der BRD mit Fischereierzeugnissen	183
1.1.4.3 Versorgung der BRD mit Algenerzeugnissen	188
1.2 Beispiel einer Kostenanalyse für eine Fischfarm	193
Forschungsbedarf	197
Beurteilung	201
Abkürzungen	212
Anhang I	215
Anhang II	217
Literatur	219

Zusammenfassung

Die vorliegende Machbarkeitsstudie prüft auf theoretischer Basis eine mögliche multifunktionale Nutzung der geplanten Offshore-Windparks mit kommerzieller mariner Aquakultur (*Open Ocean Aquaculture*) im Raum Nordsee. Hierzu wurden ausschließlich Daten aus der bestehenden internationalen Literatur gesichtet und eine Vielzahl von Gesprächen mit Experten geführt.

Zunächst spiegelt die Studie die aktuellen Forschungsergebnisse der Open Ocean Aquaculture wieder. Datengrundlage waren bisherig durchgeführte Projekte auf internationaler Basis, die sich sowohl mit Zuchtorganismen, als auch mit Offshore-Technologien, Pflege, sowie Standortwahl und der benötigten Infrastruktur befaßten. In diesem Themenblock wurde deutlich, daß Deutschland gegenüber vielen anderen maritimen Staaten bislang kaum in den Bereich der kommerziellen marinen Aquakultur vorgestoßen ist und in Bezug auf Offshore-Aquakultur lediglich ein Projekt bei Helgoland vorzuweisen hat. Als eine der wesentlichen Gründe wird hier die derzeitige komplizierte und z.T. konkurrierende nationale Rechtslage identifiziert. Ferner erschweren die ausgewiesenen zahlreichen Schutzflächen und Nationalparks, sowie die urbanen Abwässer und vor allem die Hydrodynamik der Nordsee eine Etablierung einer kommerziellen marinen Aquakultur in Deutschlands Küstengewässern.

Ein zweiter Schwerpunkt dieser Studie liegt in der Selektierung der Parameter, welche bei der Standortwahl vor der Errichtung einer Offshore-Aquakulturanlage erfüllt werden müssen. Neben den geo-physikalischen Größen, wie Wellenparameter und Strömungsprofilen, wurden auch andere abiotische Parameter, wie Verunreinigungsgrad durch urbane Abwässer geprüft. Weiterhin wurden bestimmte biotische Faktoren, wie Planktonfracht und Chlorophyllgehalt, für die möglichen Standorte aus bestehenden Datensätzen ermittelt.

Aus der Synthese dieser Parameter konnten geeignete Kandidaten für eine kommerziell arbeitende Offshore-Aquakultur bestimmt werden. Es wird hier vorgeschlagen, die Miesmuschel (*Mytilus edulis*) und die Pazifische Auster (*Crassostrea gigas*) als Kandidaten zu nutzen, da eine solche Kultur extensiv

betrieben werden kann und einen minimalen Arbeitseinsatz in Offshore-Gebieten erfordern. Ähnliches gilt für die Kultur der Braunalge *Laminaria saccharina* und der Rotalge *Palmaria palmata*.

Ein weiterer Schwerpunkt der Machbarkeitsstudie zielt in der Abschätzung der potentiellen Marktfähigkeit der Aquakulturanlage und deren Besatz in Bezug auf herkömmlich betriebenen, küstennahen Aquakulturanlagen ab. Hierbei wurden besonders auf bestehende Erfahrungen im europäischen Raum zurückgegriffen. So besteht für die Braunalge wie auch für die hier vorgeschlagene Rotalge eine hohe Nachfrage in der Industrie, welche noch weiteres wirtschaftliches Wachstumspotential verspricht. Letztere Art kann außerdem direkt als Nahrungsmittel vermarktet werden.

Neben den unmittelbaren lokalen Umweltfaktoren an den Windparks wird hier aufgezeigt, daß die schnelle Erreichbarkeit aufgrund der kürzeren Entfernung von Land und die erforderliche Infrastruktur durch nahe gelegene Häfen mit Verkehrsanbindung und weiterverarbeitende Industrien ein weiterer wichtiger Standortfaktor ist und Wettbewerbsvorteile birgt. So sind einige der Parks, die nahe der Grenze des Küstenmeeres geplant sind gegenüber denjenigen, die weit in der ausschließlichen Wirtschaftszone liegen, wettbewerbsfähiger. Diese Parameter schlagen sich unmittelbar, neben einem guten Management der Anlage, in dem wirtschaftlichen Erfolg nieder.

Die Studie endet mit einer abschließenden Beurteilung sämtlicher Faktoren, die für den Aufbau einer kommerziellen Offshore-Aquakultur in Kombination mit den geplanten Windparks im Nordsee Raum entscheidend sind.

Abstract

The feasibility study deals, on theoretical basis, with the potential multi-functional use of planned offshore-windfarms with commercial marine aquaculture (open ocean aquaculture) in the North Sea area. Exclusively, literature data from existing international experiences are reviewed here, as well as the output of several discussions with experts.

Firstly, the study reviews the current “state of the art” of open ocean aquaculture. The data was derived from existing projects within the international scientific community, which focused on candidate organisms, and dealt with offshore technology and maintenance aspects. Choice of location and infrastructure needed was also extracted from the findings of these projects. It became clear, that, in terms of commercial marine aquaculture, Germany, in comparison to many other maritime countries throughout the world, has to date little knowledge and background. Only one offshore aquaculture project nearby the Island of Helgoland was carried out. The current complicated and even counteractive national jurisdiction is identified being one of the main reasons for this lack of knowledge and experience. Next, the vast array of marine protected areas, national parks, as well as input of urban waste water adds to the calamity. However, especially the hydrodynamics of the North Sea play a key role as hindrance of establishing commercial marine aquaculture in Germany.

Secondly, the study carries out a selection of parameters, which need to be met during the decision-making of the location and construction of an offshore aquaculture farm. Next to geo-physical parameters, as wave parameters and local current profiles, other abiotic parameter, such as degree of contamination through urban waste water are addressed. Additionally, certain biological factors, such as plankton load and the concentration of chlorophyll within the possible locations were derived from existing data sets. A synthesis from these above parameters allowed the identification of suited candidates for a commercially running offshore-aquaculture. It is suggested to employ the cultivation of mussel (*Mytilus edulis*) and pacific oyster (*Crassostrea gigas*), as such a culture could be run extensively in the offshore region and the work-labour being mini-

mal. Similar accounts for seaweed, such as *Laminaria saccharina* and *Palmaria palmata*.

Thirdly, the study looked upon the possible selling market of the offshore aquaculture and their candidates in comparison to the performance of existing conventional operated farms in coastal waters. Main focus was placed on existing experience within the European community. It was put out, that a strong market exists for the suggested brown algae and red algae, which is likely to expand in the near future. The latter species can also be directly sold to the consumer as healthy food. However, one of the major elements for the economic success of the culture is the decision of the right location of an aquaculture. Here, factors like rapid accessibility due to shorter distances to the main land and available infrastructure need to be closely considered. Furthermore harbours with a good transport network and processing industries are, next to the direct local environmental factors at a specific wind farm, crucial factors. Thus, some of the wind farms, which are closer to the coastal areas economically more compatible as farm locations further off within the exclusive economic zone (EEZ). These factors, next to good management of the culture, are directly linked to the economic success of the activity.

The feasibility study closes with a final evaluation of all factors, which are critical for the development of a commercial offshore aquaculture in combination with the planned wind farms in the North Sea region.

Danksagung und Diskussionspartner

Zunächst möchte ich Prof. Dr. Victor Smetacek und Dr. Rainer Paulenz danken, die mich mit der Erstellung dieser Studie beauftragten. Des weiteren gilt mein Dank vielen Mitarbeitern des Alfred-Wegener-Instituts sowie zahlreichen Kollegen anderer Institute und Einrichtungen, die mich mit Rat und Erfahrung unterstützten.

Besonders erwähnen möchte ich an dieser Stelle folgende Diskussionspartner: Herrn ASMUS (Benthische Ökosysteme, AWI), Herrn BASURCO (International Centre for Mediterranean Agronomic Studies [CIHEAM], Mediterranean Agronomic Institute of Zaragoza [IAMZ], Zaragoza [Spanien]), Herrn BATHMANN (Pelagische Ökosysteme, AWI), Herrn BORCHARDT (Landesamt für den Nationalpark „Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer“, Tönning), Herrn BOTTKE (Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft), Herrn BRECKLING (Landwirtschaftskammer Weser-Ems [LWK], Oldenburg), Frau BUCHHOLZ (Marikultur von Makroalgen Helgoland, AWI), Herrn CHRISTENSEN (IC Trawl Ltd., Dublin [Irland]), Herrn DAHLKE (Seerecht & Genehmigungen, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie [BSH], Hamburg), Herrn DITTMAYER (Austernzucht Sylt, Hamburg), Herrn DRAFFEHN (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung [BLE], Hamburg), Herrn EILERS (Dezernat 502 Wasserwirtschaft & Wasserrecht der Bezirksregierung Weser-Ems, Wilhelmshaven), Herrn EWALDSEN (Erzeugergemeinschaft für Muschelzüchter e.V., Emmelsbüll-Horsbüll), Frau FABIAN (Seerecht & Genehmigungen; Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie [BSH], Hamburg), Herrn GLAESER (Integriertes Küstenzonenmanagement [IKZM], Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung - Gemeinnützige Gesellschaft mbH [WZB], Berlin), Herrn HAGENA (Staatliches Fischereiamt, Bremerhaven), Herrn HANSEN (Landesamt für den Nationalpark „Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer“, Tönning), Herrn HELBING (Dezernat 503 Naturschutz [außerhalb des Nationalparks] der Bezirksregierung Weser-Ems, Wilhelmshaven), Herrn HERLYN (Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Norderney), Herrn HEUERS (wissenschaftliche Begleituntersuchungen der Windparks, AWI), Herrn

HILGE (Institut für Fischereiökologie, Bundesforschungsanstalt für Fischerei, A-rensburg), Herrn JANKE (Hummerzucht Helgoland, AWI), Herrn JANSEN (Institut für ökologische Raumentwicklung, Dresden), Herr JOHANNES (Firma *DITTMAYER*, Austernzucht [*Sylter Royal*], Sylt), Herrn KNUST (wissenschaftliche Begleituntersuchungen der Windparks, AWI), Frau KRAUSE (Integriertes Küstenzonenmanagement [IKZM], Zentrum für Marine Tropenökologie [ZMT], Bremen), Herrn KRAUSE (Physik und Ozeanographie, AWI), Herrn KRUMME (Zentrum für Marine Tropenökologie [ZMT], Bremen), Herrn KVISSHEIM (Firma *AquaScan*, Hafsfjord [Norwegen]), Herrn LEFÉVRE (Firma *HYDRO-M Environment*, Toulouse [Frankreich]), Frau LOSTE (Firma *CEPRALMAR* [Muschelzucht], Montpellier [Frankreich]), Herrn LÜNING (Marikultur von Makroalgen Sylt, AWI), Frau MEHRTENS (Hummerzucht Helgoland, AWI), Herrn MEYER (Mathematische Modellierung, Institut für Chemie und Biologie des Meeres [ICBM], Oldenburg), Frau MINTENBECK (Benthische Ökosysteme, AWI), Herrn MITTELSTAEDT (Ozeanographie, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie [BSH], Hamburg), Herrn NOLTING (Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit [GTZ], Frankfurt), Herrn OLBING (Firma *FARMOCEAN* International, Kungsbacka [Schweden]), Herrn ÖVERMÖHLE (Övermöhle-Consulting, Hamburg), Herrn PLUGGE (Klimasystem, AWI), Herrn RACHOR (Benthische Ökosysteme, AWI), Herrn RADL (Firma *ENERGIEKONTOR* [Windparkbetreiber], Bremen), Herrn REDEKER (Dezernat 502 Wasserwirtschaft & Wasserrecht der Bezirksregierung Lüneburg), Herrn RENNERT (Firma *RENNERT* Energieprojekte GmbH [Windparkbetreiber], Meinersen), Herrn REINHART (Firma *ENERGIEKONTOR* [Windparkbetreiber], Bremen), Herrn REISE (Benthische Ökosysteme, AWI), Herrn RUTH (Fischereiabteilung des Amtes für Ländliche Räume, Kiel), Herrn ROSENTHAL (Aquakultur; Institut für Meereskunde [IFM], Kiel), Frau ROTHERT (Bundesamt für Naturschutz [BfN], Bonn), Herrn SCHALE (Firma *SEUS Biotechnik* [Muschellarvenzucht], Wilhelmshaven), Herrn SCHRÖDER (Dezernat 503 Naturschutz [außerhalb des Nationalparks] der Bezirksregierung Lüneburg), Herrn SCHWARZER (Institut für Geowissenschaften [CORELAB], Universität Kiel), Herrn SEUS (Firma *SEUS Biotechnik* [Muschellarvenzucht], Wilhelmshaven), Frau SOBOTTKA (Nationalparkverwaltung „Niedersächsisches Watten-

meer“, Bezirksregierung Weser-Ems, Wilhelmshaven), Herrn SOBOTTA (Dezernat 503 Naturschutz [außerhalb des Nationalparks] der Bezirksregierung Lüneburg), Herrn SPERLING (Gutachtergremium der BSH für Windparkanträge, AWI), Herrn STENERT (Dezernat 201 Raumordnung der Bezirksregierung Weser-Ems, Wilhelmshaven), Herrn TURNER (Firma *SEAWORK Scotland Ltd.*, Cuan, Monadh nan Carn, Ardfern, Lochgilphead, Argyll [England]), Herrn WALTER (Erzeugergemeinschaft für Muschelzüchter e.V., Wyk auf Föhr), Herrn WALTER (Langleinenkultur, Forschungszentrum Terramare, Wilhelmshaven), Herr WOLTERS (Wasser- und Schiffsamt [WSA], Bremerhaven).

Einleitung

Fast jedes Land, welches Zugang zum Meer hat, betreibt Marikultur. Nur in seltenen Fällen, wie in manchen Entwicklungsländern, fehlt jede Grundlage, technisches Know-how, Equipment und Geld, Forschung zu betreiben oder die Marikultur kommerziell einzusetzen.

Wenn man von der Definition von Entwicklungsländern in diesem Bereich ausgeht, so geschieht das in diesem Kontext nicht im klassischen Sinne, sondern zielt mehr auf die oben genannten Faktoren ab. Damit wäre dann unter anderem ein Land wie Kambodscha ein Beispiel für Entwicklungsland im Sinne einer erfolgreichen kommerziellen Anwendung der Marikultur. Ein weiteres Beispiel für einen Staat ohne marine Aquakultur ist Deutschland, obwohl alle oben erwähnten Voraussetzungen eindeutig vorhanden sind oder erbracht werden könnten. Die Hauptgründe dafür liegen in den Schwierigkeiten bei der Regulierung und Vergabe von Flächen und die damit verbundenen juristischen Konflikte. Aufgrund der derzeitigen starken Nutzung von Deutschlands Küsten entstehen vielfältige Nutzerkonflikte und Probleme, die unter anderem auch zu starken Konflikten mit den örtlichen Fischerverbänden führen können. Ein weiteres Problem ist, daß die Aquakultur in der breiten Öffentlichkeit allgemein als umweltunverträglich angesehen wird.

Offshore, Open Ocean, Far out – Begriffe, die bisher in unseren Breiten nur selten oder gar nicht mit der Aquakultur in Zusammenhang gebracht wurden sind in Asien und den USA zu gängigen Schlagwörtern der Marikultur geworden. Bislang haben sich mit dem Open Ocean-Bereich weltweit unterschiedlichste Fachrichtungen beschäftigt, wie Biologen, Geologen, Aquaristen, Aquakulturbauern, Techniker und Sozio-Ökonomen. Es gibt eine Fülle von Projekten in den Bereichen der Offshore-Technik und der Biologie von einigen Besatzkandidaten. Gerade die Bewachung des vollen Lebenszyklus kultivierbarer Organismen beschäftigten verschiedene biologische Forschungsstudien, um den Flaschenhals in der Bereitstellung von genügend Brut zu bewältigen. Ein weiterer Forschungsschwerpunkt liegt in der Bereitstellung stabiler Offshore-Technik,

die den extremen Umweltbedingungen vor Ort standhält und eine sichere Bewirtschaftung der Anlagen gewährleistet.

Trotz der langjährigen Forschung werden die Ergebnisse in der Open Ocean Aquakultur wenig in der Praxis umgesetzt. Es gibt zum Zeitpunkt kaum kommerziell genutzte Open Ocean Farmen, da neben technischen und biologischen Schwierigkeiten gerade die oben genannten Konflikte zwischen den unterschiedlichen Nutzergruppen der Küstenräume und der Lobby der Umweltschützer ein großes Hemmnis darstellt. Neben technischen Herausforderungen auf hoher See müssen die sozio-ökonomischen Probleme an Land ernst genommen werden. Schon zu Beginn eines Projektes müssen alle „Stakeholder“ eingebunden werden, um für alle Beteiligten einen annehmbaren Konsens zu finden.

Teil I dieser Arbeit gibt einen Überblick über die im Open Ocean Bereich gesammelten Erfahrungen aus technisch-biologischer Sicht. Dabei geht es einerseits um die Anforderungen an Standort und Technik, andererseits um die Beziehung von Offshore-Lebensbedingungen auf die zu kultivierenden Organismen.

Teil II dieser Studie stellt die unter den vorherrschenden abiotischen und biotischen Bedingungen kultivierbaren Kandidaten vor. Außerdem bezieht der hier dargestellte Ansatz zur Einrichtung eines für die Nordsee neuartigen Forschungs- und Produktionszweiges die wichtigsten Aspekte einer extensiven Bewirtschaftung, der technischen Machbarkeit sowie des erforderlichen Forschungsbedarfs mit ein.

Da es sich um einen international neuen Aquakulturzweig handelt, gibt es weltweit wenig kommerziell betriebene Open Ocean Aquakulturen. Demzufolge ist der Forschungsbedarf für alle Aspekte der Aquakultur (Technik, Besatz, etc.) groß und für jedes neue Vorhaben sehr aufwendig und vielfältig.

In Deutschland gibt es keine Open Ocean Aquakulturen, ja sogar die Anzahl der Kulturen in unmittelbarer Küstennähe ist sehr gering. Das erschwert einen

Vergleich, da aus diesen Gründen kaum Daten vorhanden sind. Zwar besteht die Möglichkeit, auf Erfahrungen von anderen aquakulturbetreibenden Ländern in Europa zuzugreifen, doch beschreiben diese nur die jeweiligen Bedingungen (Umweltfaktoren, Logistik, Infrastruktur, technischen Möglichkeiten) des betreffenden Gebietes. Diese können bezüglich mancher Umweltfaktoren der Nordsee entsprechen, jedoch ist der Raum Nordsee gegenüber den Meeresarealen, in denen erfolgreich eine kommerzielle Aquakulturfarm betrieben wird, unter starker Nutzung vieler Gruppen. Das Finden geeigneter Flächen und die Vergabe von Genehmigungen, diese Fläche für Aquakultur nutzbar zu machen, erschweren eine Bewirtschaftung des deutschen Küstenmeeres.

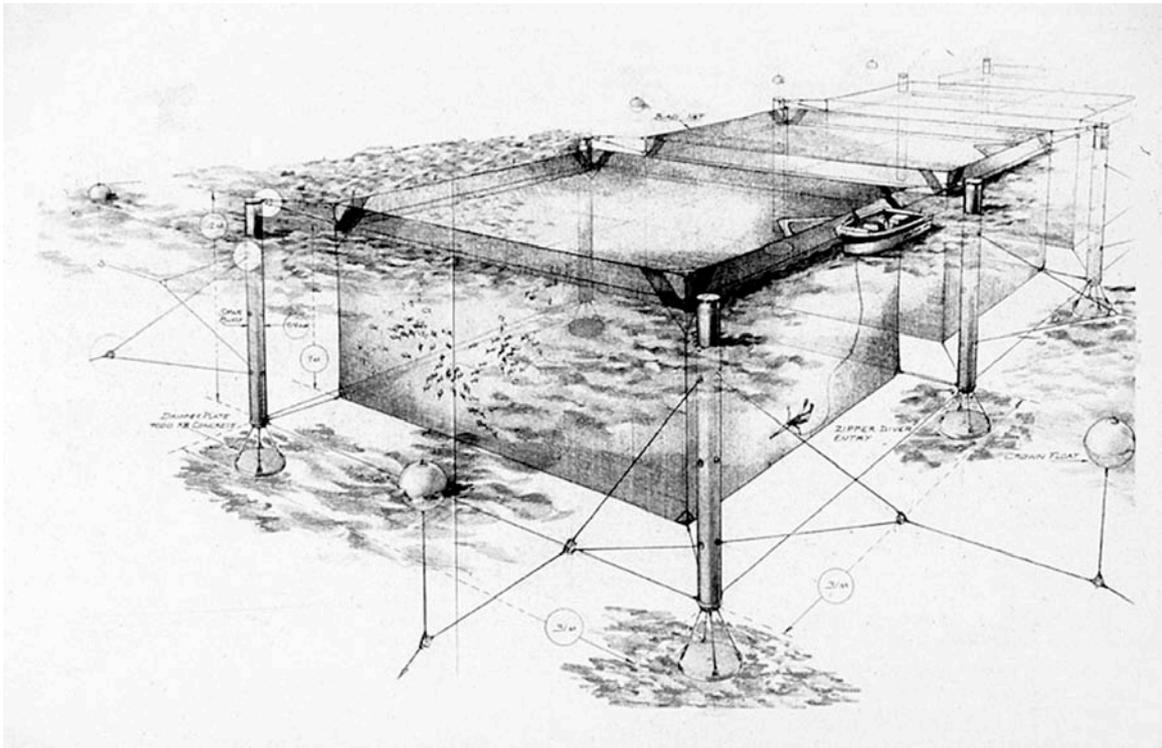
Zielsetzung der Teilstudie III ist die Feststellung der relevanten Kosten, der Risiken und welche Faktoren in der Entscheidungsfindung über die Art und den Standort einer Aquakulturanlage wichtig sind.

Hierbei spielt außerdem die marktwirtschaftliche Analyse ein wesentliches Element in der Feststellung des Potentials und Entwicklungsmöglichkeiten einer Aquakulturanlage im wirtschaftlichen Wettbewerb.

Die ökonomische „*cost-benefit*“-Analyse sollte daher sämtliche Kosten und Nutzen umfassen. Das heißt, daß neben den wirtschaftlichen Aspekten auch die ökologischen und sozialen Auswirkungen in Betracht gezogen werden müssen. Letztendlich sei darauf hingewiesen, daß die Maximierung des wirtschaftlichen Potentials einer Offshore-Aquakulturanlage im wesentlichen von der Güte der eingesetzten Technologie und des Managements abhängt.

Letztendlich sollen Wirtschaftszweige für die in Teilstudie II vorgeschlagenen potentiellen Kulturorganismen aufgedeckt werden und neben dem Marktwert dieser Organismen eine Nachfrage in Deutschland beleuchtet werden.

Diese Studie beschäftigt sich ausschließlich mit der Aquakultur im offenen Ozean (*Open Ocean Aquaculture*) und ist nicht mit konventioneller Teichwirtschaft oder gängiger landgestützter sowie mariner Aquakultur gleichzusetzen.



Teil I

Review über **Open Ocean Aquaculture**

Technik, Design & Pflege; Besatz & Zucht; Art der Betreibung; Fütterung;
Standorte; multifunktionale Nutzbarkeiten; Projekte im In- und Ausland

1.0 Anfang und Entwicklung in der Aquakultur

1.1 Ursprung der Aquakultur: *Han*-Dynastie

Schon während der *Han*-Dynastie vor 4.000 Jahren kultivierten die Chinesen Süßwasser-Fische, in Mesopotamien wurde bereits vor 3.500 Jahren Teichwirtschaft betrieben. In Europa hielt diese Art der Tierhaltung erst während des Römischen Reiches Einzug (SWANN, 1992; BAKER & JIA, 2000). Heutzutage ist die Entwicklung der Aquakultur¹ nicht mehr auf den chinesischen Graskarpfen beschränkt. Es hat sich neben anderen Fischen eine Bandbreite verschiedenster aquatischer Organismen wie Weichtiere, Krabben und Algen, entwickelt, die in die Zucht mit aufgenommen worden sind. Die Chinesen haben traditionell die Fischkultivierung beibehalten, so daß nach einer langen Entwicklungsphase von Hälterungstechniken und dem Handling von zu kultivierenden Organismen heutzutage ein perfektes Management entstanden ist (McVEY, 1996). Das betrifft die intensive Aquakultur mit bis zu 50 t·ha⁻¹·Jahr⁻¹ wie auch die extensive Aquakultur, in der ohne Zufütterung Gewinne von bis zu 600 kg pro ha erzielt werden. Der jährliche Umsatz liegt bei 15 Milliarden US \$ (FAO 1994). Gegenüber der Fischereiwirtschaft, die dem alten Sammel- und Jagdprinzip nachgeht, ist die Aquakultur eher mit der Viehhaltung in der Landwirtschaft vergleichbar. Hier geht es hauptsächlich um die Aufzucht von Lebewesen und dem damit verbundenen Management der aquatischen Ressourcen in einer begrenzten Umgebung (KINNE, 1991; SWANN, 1992; BAKER & JIA, 2000).

¹ Nach der Definition der FAO (1989) wird der Begriff folgendermaßen definiert: Aquakultur ist die Bewirtschaftung von aquatischen Organismen wie Fischen, Weichtieren, Krebsen und Algen. Bewirtschaftung setzt einen gewissen Eingriff in den Aufzuchtprozeß voraus, um die Produktion zu fördern, wie regelmäßigen Besatz, Fütterung, Schutz vor Räubern und weiteres. Bewirtschaftung setzt ebenfalls den Besitz einer Einzelperson oder einer Körperschaft an dem bewirtschafteten Bestand voraus. Für statistische Zwecke wird die folgende Aufteilung getroffen: aquatische Organismen, die von Einzelpersonen oder Körperschaften geerntet werden und während der Aufzuchtperiode im Besitz der Einzelperson oder Körperschaft waren, werden zur Aquakultur gerechnet; aquatische Organismen, die von der Öffentlichkeit als Gemeinschaftseigentum mit oder ohne Lizenzen erwirtschaftet werden, werden zur Fischerei gerechnet.

1.2 Unterteilung und Betreuung der Systeme

Es haben sich die mannigfaltigsten Systeme zur Haltung von aquatischen Organismen entwickelt, wobei zunächst noch zwischen Systemen für Süßwasser-, Brackwasser- und marinen Organismen unterschieden werden muß. An Land wurden hauptsächlich künstliche Teiche und Becken, wie Reisfelder, verwendet. Bei Brackwasserkulturen handelt es sich bei kleineren Systemen überwiegend um Käfige, Floßkulturen und Netze, bei größeren Kulturanlagen um abgetrennte Buchten und Flußsystemen in Mangrovengürteln (KINNE, 1991; BAKER & JIA, 2000). Die marine Aquakultur kann auch in künstlich angelegten Teichen betrieben werden, es gibt aber auch Systeme, die in unmittelbarer Küstennähe oder sogar im offenen Meer betrieben werden.

Die Aquakulturanlagen können je nach wirtschaftlichem Interesse, Aufwand und Machbarkeit traditionell oder extensiv, semi-intensiv oder intensiv bzw. ultra-intensiv betrieben werden (BAKER & JIA, 2000; RÖNNBÄCK, 2001). Bei einer extensiven Anlage ernähren sich die kultivierten Organismen von dem in ihrer Umgebung natürlich vorhandenem Futterangebot, kein zusätzliches Futter wird verabreicht. Eingriffe in das vorhandene Ökosystem beschränken sich meist auf die Abwehr von Freßfeinden und einem gelegentlichen Umsetzen zur Sicherung der Ernährung und zur Vorbeugung möglicher Wasserverschmutzungen (KINNE, 1991; RÖNNBÄCK, 2001). Das Input-Output-Verhältnis ist eher gering, eine Beaufsichtigung der Kultur findet meistens nur während des Abwachsstadiums statt. Die Austern- und Muschelzuchten werden noch heute hauptsächlich extensiv betrieben. Um so mehr Kontrolle und Management in solch eine Kultur einfließt, um so mehr rückt sie über eine semi-intensive Betreuung hin zu einer intensiven bzw. ultra-intensiven Aquakultur. Bei einer intensiv betriebenen Aquakulturanlage ist das Input-Output-Verhältnis sehr groß. Der Technologieaufwand ist komplexer und moderner, Besatzdichten sind größer und der gesamte Lebenszyklus eines Organismus vom Ei über das Larvalstadium bis hin zum ausgewachsenen Tier wird bewacht. Das führt zu einer kontrollierten Fütterung, meist mehrmals täglich über Futterautomaten, und einem genauen Wassermanagement, damit ein stabiler und optimaler Lebensraum garantiert wer-

den kann. Landgestützte Aquakulturen, wie Rezirkulationsanlagen, benötigen Tanksysteme und Wasseraufbereitungsanlagen (BELLE *et al.* 1996). Durch eine Kombination von Filtern (Biofiltern), Abschäumern, Kalkreaktoren und Belüftungsanlagen kann das Wasser größtenteils immer wieder verwendet werden, gewöhnlich werden aber täglich 5-10 % des Tankwasser ausgetauscht (GOUDEY, 1998). Ein Maximum an Ernte wird mit einem Minimum an Wasser und Platz produziert (KINNE, 1991).

1.3 Produktion: Weltweit – Europa – Deutschland

Gegenwärtig werden ca. 300 Fisch-, Krebs- und Weichtierarten in den Aquakulturen gezüchtet (FAO 1999a; FAO 1999b), wobei hochwertige Erzeugnisse bevorzugt werden. Nach FAO-Statistiken ist seit 1970 die Aquakultur im Vergleich zur Fischerei oder Landwirtschaft der am schnellsten wachsende Sektor der Nahrungsmittelerzeuger (BENETTI *et al.* 1998). Während 1980 noch gegenüber 3.750 Mill. Tonnen tierischer Produkte aus der Landwirtschaft, sowie 71 Mill. Tonnen aus der Fischerei, nur 8 Mill. Tonnen aus der Aquakultur stammten (0,21 %), wurden 1997 schon 36 Mill. Tonnen aquatische Organismen aus Aquakulturen produziert. Hierbei nehmen ca. 75 % die Produktion von Fisch und Muscheln ein (TACON, 1998; KINNE, 1991). 80 % dieser Produktion stammen aus sogenannten Dritte Welt Ländern, angeführt von China, Indien, Philippinen und Indonesien. Asien, gefolgt von Südamerika und Afrika, hat einen Anteil von 89 % an dieser Produktion, wobei Japan mit marinen Aquakulturen im Inshore-Bereich führend ist (RANA, 1997; LEE & TURK, 1998). Letzteres trifft ohne weiteres auch auf die Zucht von Algen wie die Rotalge *Prophyra* oder die Braunalgen *Laminaria* und *Undaria* zu, die Japan in Offshore-Kulturen züchtet.

Auch die Zucht von Crustaceen hat einen enormes Produktionswachstum erlebt. Während die Produktion nur 5 % von der gesamten Aquakulturproduktion ausmacht, so erzielt sie 20 % des gesamten Handelspreises (RÖNNBÄCK, 2001). Während 1980 noch 49.000 Tonnen Crustaceen produziert wurden stieg die

Produktion im Jahre 1992 auf das 15fache, 750.000 Tonnen (FAO, 1990). 90 % der gezüchteten Crustaceen sind Garnelen, vorwiegend der Gattung *Penaeus*, die größtenteils in Thailand, China, Indonesien und Ecuador gezüchtet werden (OTT, 1996).

In Europa wird weniger Aquakultur betrieben. Die jährliche Produktion im Jahre 1995 betrug 1,4 Mill. Tonnen (5 % der Produktion weltweit), wobei 70 % davon aus Brack- oder Meerwasserkulturen stammt. Der Bereich der Aquakultur wird in ganz Europa ständig erweitert und erfährt seit 1984 eine Steigerung um 51 % in der Produktion und um 165 % im Gewinn (TACON, 1997). Anteilig am Proteinverbrauch stieg der Fischproteinanteil innerhalb von 10 Jahren von durchschnittlich 8,3 % auf 9 % ($18,1 \text{ kg} \cdot \text{Kopf}^{-1} \cdot \text{Jahr}^{-1}$), wobei Island mit 30,4 % ($97 \text{ kg} \cdot \text{Kopf}^{-1} \cdot \text{Jahr}^{-1}$) den höchsten Anteil innerhalb Europas hat, die Slowakei mit 0,4 % ($0,5 \text{ kg} \cdot \text{Kopf}^{-1} \cdot \text{Jahr}^{-1}$) den niedrigsten. Nur 31 von 42 Staaten Europas betreiben Aquakultur, wobei 90 % der Gesamtproduktion von zehn Ländern bereitgestellt werden (Tab. 1).

Tab. 1 Die zehn größten Aquakulturproduzenten in Europa 1995.

Modifiziert nach TACON (1997)

Land	Produktion in t (Gesamtmenge)	Wachstum 1984-1995 in %	Wert in Mill. US \$
Norwegen	282,471	24,3	1,037
Frankreich	280,785	3,5	663
Italien	224,865	7,9	499
Spanien	138,260	-5,4	259
England	133,838	16,4	265
Niederlande	83,285	3,0	67
Deutschland	58,264	-4,8	163
Dänemark	42,205	5,4	137
Griechenland	32,644	26,3	157
Irland	31,922	6,9	85

Norwegen steht aufgrund der großen Lachsfarmen in den Fjorden an erster Stelle der jährlichen Produktion ($288 \text{ Tonnen} \cdot \text{Jahr}^{-1}$), gefolgt von Frankreich, die mit $280 \text{ Tonnen} \cdot \text{Jahr}^{-1}$ eine ähnlich hohe Produktionsrate aufweisen. Deutschland steht an sechster Stelle mit $58 \text{ Tonnen} \cdot \text{Jahr}^{-1}$ und hat in Europa gemein-

sam mit Spanien die einzige negative Produktionsrate von 4,8 % bzw. 5,4 % (Tab. 1). Ein Großteil der deutschen Produktion ist mit der Miesmuschelfischerei zu erklären, die fälschlicherweise von vielen Datenbanken zur Aquakultur gerechnet werden.

Fisch und Mollusken sind hierbei die wichtigsten kultivierten Produkte mit einem Gesamtanteil von 780.000 Tonnen (55,2 %) bzw. 626.000 Tonnen (44,33 %) (RANA, 1997). Algen nehmen mit 5.000 (0,36 %) Tonnen und Crustaceen mit 2.000 Tonnen (0,14 %) eine untergeordnete Rolle ein. Fisch wird hauptsächlich in intensiven Fischbetrieben in geschützten Buchten (inshore/nearshore) produziert (PEDINI, 1996), wobei Salmonide mit jährlich 614.000 Tonnen (78,9 %), wie Atlantischer Lachs (*Salmo salar*) und Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*), den Hauptbesatz einnehmen (TACON, 1997). In Mittelmeerstaaten werden größtenteils Meerbrassen (*Sparus auratus*) und Wolfsbarsch (*Dicentrarchus labrax*) gezüchtet. Griechenland, wo von der EU geförderte Netzgehege und Zuchtanlagen installiert wurden, steht mit über 50 % der Produktion dieser Fischarten an erster Stelle. Dann folgen Italien, Spanien und Frankreich (PEDINI & SHEHADEH, 1997; BAUCE, 1997; HJUL, 1997; NEW, 1997). Miesmuscheln (*Mytilus edulis*, *M. galloprovincialis*), Austern (*Crassostrea gigas*) und Teppichmuscheln (*Tapes spp.*) nehmen 61,2 % der kultivierten Mollusken ein und kommen hauptsächlich aus Frankreich (34,3 %), Italien (25,7 %) und Spanien (17,1 %) (Tab. 2). Bei den gängigen Kultivierungsmethoden werden die Organismen an Schnüren als Hängekultur, an Pfählen oder als Bodenkultur gezüchtet.

In Deutschland wird schon seit einigen Jahrhunderten traditionell Teichwirtschaft mit Karpfen (*Cyprinus carpio*, ca. 11.000 Tonnen·Jahr⁻¹) und Regenbogenforellen (*O. mykiss*, ca. 25.000 Tonnen·Jahr⁻¹) betrieben. Weitere Arten sind Barsch (*Perca fluviatilis*), Aal (*Anguilla anguilla*) und andere (ROSENTHAL & HILGE, 2000). Miesmuscheln werden größtenteils aus vorher angelegten Muschelbänken an Schleswig-Holsteins sowie Niedersachsens Küsten abgefischt. Klassische Muschelkulturen an Seilen existieren kaum und werden hauptsächlich zu Forschungszwecken errichtet. Dazu zählt z. B. eine Anlage mit Leinenkulturen des *Forschungszentrums Terramare* (Wilhelmshaven) in der Jade (WALTER *et al.*, in Vorbereitung). Im Offshore-Bereich gibt es außer in der Ost-

Tab. 2 Die am meisten produzierten Muscheln in Europa 1995. Modifiziert nach TACON (1997)

Organismen/Land		Produktion in t (gesamt)
Miesmuscheln		383,129
-----		-----
Miesmuschel (<i>Mytilus edulis</i>)		261,773
Spanien	35,2 %	
Niederlande	30,3 %	
Frankreich	18,8 %	
Blaubart-/Seemuschel (<i>M. galloprovincialis</i>)		121,356
Italien	78,3 %	
Austern		159,622
-----		-----
Pazifische Auster (<i>Crassostrea gigas</i>)		134,785
Frankreich	96,7 %	
Klaffmuscheln		82,025
-----		-----
Teppichmuscheln (<i>Tapes spp.</i>)		75,005
Italien	80,2 %	
Mollusken gesamt		626,213

see so gut wie keine Kulturanlagen für die Fisch- oder Muschelzucht. In der Kieler Förde wird eine Inshore(Coastal)-Aquaculture für die Kultivierung von Lachs betrieben. Diese Anlage wurde vor einigen Jahren als Testobjekt des Instituts für Meereskunde in Kiel verwendet und dient heute der kommerziellen Fischzucht (JÄGER-KLEINECKE, pers. Komm).

In Nord- und Westeuropa werden hauptsächlich qualitativ hochwertige Produkte gezüchtet, die als Exportgut eher mit Luxusware verglichen werden kann und nicht als wichtige Ernährungs- oder Proteinquelle dient (TACON, 1997). Der Profit ist dabei so hoch, daß z. B. trotz in Norwegen der hohen stressbedingten Verletzungsraten der Fische an den Netzen der Käfige und der damit verbundenen Massenschlachtungen in den Jahren 1988 und 1989 (DAHLE, 1991) keine wirtschaftlichen Einbußen zu verzeichnen waren. Es herrschte dennoch eine Überproduktion an Atlantischem Lachs aus Norwegen (PEDINI, 1996), so daß eine Einschränkung der Produktion durch die *Norwegian Fish Farmers Association* angeordnet wurde. In südeuropäischen Ländern haben neben *Red Tides* auch hohes Parasitenaufkommen die Muschelindustrie allein in Spanien inner-

halb eines Jahres von 247.000 Tonnen auf 90.000 Tonnen reduziert, was zu einem enormen Konkurrenzdruck bezüglich der Muschelproduktion führte (FIGUERAS *et al.*, 1996; MARTINEZ *et al.*, 1996).

Weiterhin bestehen in Europa Interessenkonflikte bei der Nutzung von Standorten (ROSENTHAL, 1997) bzw. gibt es eine Abneigung der Konsumenten gegenüber umweltunfreundlicher Aquakultur, so daß Produkte, die „*clean and green*“ sind, gefordert werden (MUIR, 1996).

In osteuropäischen Ländern nehmen qualitativ minderwertigere Fische aus semi-intensiver oder extensiver Teichwirtschaft einen bedeutenderen Teil in der Ernährung der örtlichen Bevölkerung ein, so daß die Produktion größtenteils den lokalen Markt deckt. Allerdings stagnierte dort aufgrund politischer Unruhen und den damit verbundenen Wirtschaftseinbrüchen das Wirtschaftswachstum dieses Sektors (PEDINI, 1996, SZCZERBOWSKI, 1996).

1.4 Die Problematik

Im Jahre 2010 wird die Erdbevölkerung voraussichtlich auf 7.5 Milliarden Menschen ansteigen, wobei 90 % in unterentwickelten Ländern wohnen werden (BAKER & JIA, 2000). Bei dieser ständig wachsenden Weltbevölkerung und der daraus resultierenden möglichen weltweiten Hungersnot müssen die Produktion, Konservierung und Verteilung von Nahrungsmitteln eine hohe politische, soziale und wissenschaftliche Priorität einnehmen (KINNE, 1991). Da 90 % unserer Nahrungsmittel terrestrischen Ursprungs sind, die ländliche Nahrungsmittelproduktion jedoch neben der starken Umweltbelastung räumlich an ihre Grenzen stößt, müssen zur Ergänzung der „Grünen Revolution“ alternative Ressourcen gesucht werden.

Auch der Nachschub aus der Fischerei zur Sicherung der Ernährung sowie des Proteinhaushaltes stößt an seine Grenzen. Mit einer jährlichen Anlandung an aquatischen Lebewesen von 85-95 Mill. Tonnen ist eine Steigerung nicht mehr möglich (FAO, 1999b). Die meisten Fischbestände sind bereits ausgebeutet oder stehen dicht an einem Zusammenbruch (NRC, 1999).

Der Aquakultursektor hat sich in Bezug auf Produktionsmenge und -wert innerhalb von 10 Jahren (1986-1996) mehr als verdoppelt (FAO, 1999a). Dieser ständig wachsende Wirtschaftszweig wird oft als die „Blaue Revolution“ bezeichnet (RÖNNBÄCK, 2001) und verspricht mehr als ihr „Grüner Partner“, kann aber auch unter heutigen Gesichtspunkten die Probleme des Welthungers nicht lösen. Die Limno- und Marikultur in künstlichen Systemen und im Küstenbereich belasten aufgrund der enormen Nährstoffmengen im Abwasser die Umwelt (ACKEFORS & SODERGREN, 1985). Besatzdichten können bei dem schon bestehenden Risiko von Krankheiten und Schwierigkeiten im Wassermanagement nur unter großen Schwierigkeiten weiter erhöht werden.

Die meisten Produkte der marinen Aquakultur sind überdies Luxusnahrungsmittel, deren Zucht mit großem technischem Aufwand betrieben wird und mancherorts für enorme ökologische Probleme sorgen. Als teures Grundnahrungsmittel oder zur „Sicherung des Proteinbedarfs“ kann diese Art der Nahrungsmittelerzeugung sicher nicht angesehen werden. Es stellt sich die Frage, ob es vertretbar ist, hochwertige Delikatessen zu züchten und dafür eine starke ökologische Belastung der Umwelt in Kauf zu nehmen. Darüber hinaus stehen diese Luxusprodukte meist weit oben in der Nahrungskette. Je höher die Trophiestufe, desto mehr Energie wird für die Zucht benötigt. So müssen z. B. für die Zucht von 1 kg Shrimp-Eiweiß 5-10 kg Eiweiß verfüttert werden. Es bleibt am Ende eines Aquakulturprozesses also nur ein kleiner Teil des eingebrachten Eiweißbetrages übrig. Bis zu 90 % gehen in einem Verfahren verloren, in welchem vorhandene Proteine, die im Prinzip als menschliche Nahrungsmittel vollkommen akzeptabel wären, in ein teures Luxusprodukt umgewandelt werden, welches sich aber nur eine Minderheit leisten kann (Tab. 3).

Die Zucht von Muschel ist bezüglich der Fütterung effizienter, da diese Organismen als Filtrierer der 2. trophischen Ebene angehören. Doch rechtfertigt das nicht eine Massenzucht von „high value“-Produkten, die in keiner Weise als Grundnahrungsmittel bezeichnet werden können.

Tab. 3 Zur Erzeugung der verschiedenen Eiweißarten sind unterschiedliche Mengen fossiler Energieträger aufzuwenden. Modifiziert nach KINNE (1991)

Erzeugnis	Erzeugtes Eiweiß in kg pro Hektar	Aufgewendetes Futter-eiweiß in kg pro kg	Erdölverbrauch in Liter pro kg erzeugtes Eiweiß	Verhältnis zwischen Energieeinsatz und Eiweißherzeugung in Joule
Eier	182	3,7	5,7	13
Süßwasserfisch	51	9,5	15,0	35
Schweinefleisch	65	10,5	15,4	35
Milch	59	3,2	15,8	36
Rindfleisch	51	15,4	33,8	78

Die Aquakultur ist bei vielen Wissenschaftlern sowie bei der Bevölkerung und regionalen Umweltverbänden aufgrund der Umweltbelastung nicht zu Unrecht negativ behaftet. Als Beispiele sind an dieser Stelle verschmutzte Küstengewässern (z. B. Lachskulturen in Norwegen) oder zerstörte Mangrovensysteme (z. B. Garnelenzucht in Ecuador) zu erwähnen. Weiterhin fand durch den intensiven Gebrauch von Wasserflächen, dem Einsatz von Chemikalien und der Beeinflussung auf benthische Lebensgemeinschaften eine starke Beeinträchtigung der marinen Umwelt statt (MCELWEE, 1998b).

Bei dem zu erwartenden Bevölkerungswachstum werden im Jahre 2025 ca. 70-75 % der Menschheit innerhalb eines 100 km breiten Streifens der Küsten wohnen. Diese unmittelbare Nähe zum Meer erfordert die Bewirtschaftung und Nutzung der umliegenden Regionen (CULLITON *et al.* 1990). Die Ozeane, welche flächenmäßig $\frac{2}{3}$ der Erdoberfläche bedecken, könnten ausreichend Platz spenden, um das bestehende Nahrungsdefizit auszugleichen. Die für die Aquakultur nutzbaren marinen Flächen scheinen unerschöpflich zu sein, welches die ständig wachsende Nachfrage nach aquatischen Lebensmitteln begünstigt (DEVOE, 2000). Doch alle problemlos zugänglichen Areale müssen nicht auch qualitativ ausreichend sein, um erfolgreich aquatische Organismen züchten zu können. Die Küstenzonen werden vielfach genutzt, wie von der Schifffahrt, Militär, Fischerei, Landwirtschaft, zur Förderung von Sand, sowie Tourismus und

Naherholung (HARVEY, 1994). Nutzerkonflikte machen in einem nach SANDIFER (1994) formulierten Problemkatalog 92 % der Schwierigkeiten aus, in küstennahen Gebieten geeignete Flächen für die Bewirtschaftung von Aquakulturen zu finden. Zudem bieten die herrschenden Umweltbedingungen vor Ort nicht immer eine gute Grundlage zum Aufbau einer Kultur. Die biotischen sowie abiotischen Umweltfaktoren können die ökologischen Potenzen verschiedener Organismen überschreiten, wie z. B. starke Strömung, Gezeiten, oder die vorliegenden Sauerstoffkonzentrationen in wenig bewegten Gewässern (DEVOE & MOUNT, 1989). Die jedoch wichtigste Ursache für eine oft erfolglose Aquakultur sind die stark belasteten Küstengewässer, verschmutzt durch Berufsschifffahrt, Industrie und Einleitung urbaner Abwässer.

Die Frage ist, in welchem Maße die Aquakultur die Landwirtschaft zur Sicherung der Ernährung der Erdbevölkerung unterstützen kann und welche Flächen dafür in Betracht kommen könnten.

1.5 Ein möglicher Ausweg: Open Ocean Aquaculture

Eine mögliche Lösung für die Aquakultur wäre, sie im offenen Ozean weiter entfernt von den erwähnten Küstenbereichen zu betreiben, eine sogenannte „Open Ocean Aquaculture²“ (OOA) oder „Offshore-Aquaculture³“. So könnte man den bereits erwähnten Problemen aus dem Wege gehen. Nach DAHLE (1991) ist das für Westeuropa und die USA die beste Möglichkeit, große Produktivität und gute, gesunde Qualität anzubieten. Doch muß darauf hingewiesen werden, daß dadurch die Verlegung in küstenferne Gewässer andere, neue Probleme entstehen können. Die Tabellen 4 und 5 zeigen die wesentlichen Vor- und Nachteile der Open Ocean Aquaculture (DOUGALL, 1998).

² Nach MCELWEE (1998) bezeichnet man die Aquakultur, die den ungeschützten biotischen und abiotischen Umweltfaktoren im Meer ausgesetzt ist, als *Open Ocean Aquaculture*. Sie ist gegenüber der *Coastal Aquaculture* oder *Urban Aquaculture* außerhalb der 3-Meilen-Zone, aber innerhalb der ausschließlichen Wirtschaftszone/200-Meilenzone eines Landes (AWZ).

³ Als *Offshore Aquaculture* wird lediglich die Aquakultur jenseits der Küste bezeichnet (variable Entfernung von 2 Seemeilen und mehr) (MUIR, in BASURCO, 2001).

Optimale Bedingungen für eine Aquakultur im Offshore-Bereich wären stabile Wasserbedingungen, oligotrophe, unverschmutzte Gewässer, Wassertiefen von 35-70 m und eine bestehende Infrastruktur. Fisch aus Offshore-Kulturen ist qualitativ besser, wächst schneller und hat geringere Sterblichkeitsraten (SVEALV, 1988). Durch die Ausweitung des möglichen Aquakulturbereichs auf die offene See werden Nutzerkonflikte, die im Küstenbereich entstehen würden, größtenteils vermieden. Besonders hervorzuheben ist außerdem der Zugang zu großen Flächen mit besseren Wasserqualitäten (DEVÖE & MOUNT, 1989; LOVERICH, 1991b). Die kommerziell genutzten Kulturanlagen würden einen enormen wirtschaftlichen Gewinn versprechen, weil die Qualität und Produktivität der aquatischen Umgebung die maximale Besatzdichte erlaubt und die Wachstumsrate der Kulturorganismen fördert.

Doch diese potentiellen Chancen setzen nicht automatisch eine tatsächliche Bewirtschaftungsmöglichkeit einer Offshore-Farm voraus. Eine Fülle an Projekten hinsichtlich der Forschung über die Technologie von Systemen, der Biologie von Besatzorganismen sowie sozioökonomische Studien in der konventionellen Aquakultur zeigte, daß sich die Bewirtschaftung von exponierten Offshore-Bereichen oft als nachteilig erwies (BUCKLIN & HOWELL 1998). Weitere technische Entwicklung von neuen Käfigen und Netzen, Ausrüstungen und Versorgungseinheiten ist dringend erforderlich (CROKER, 1996). Weiterhin zeigt sich die Nachschubsituation in der Brut immer noch als Flaschenhals und muß dringend ausgebaut werden (KATZ, 1994; OSTROWSKI, 1998; FUKOSHU, 1996). Derzeit wird der Hauptteil an Jungfischen und Muscheln immer noch aus Wildbeständen gedeckt.

In einigen Ländern, angeführt von Australien, Neuseeland, Japan und Rußland, werden Offshore-ähnliche Farmen kommerziell betrieben (BEN-YAMI, 1997). In Europa sind die Shetlandinseln, Faroerinseln, Israel und Zypern vertreten. Irland betreibt schon seit 1979 in geschützten Buchten „Inshore-Anlagen“ (MCELWEE, 1998b). Jedoch handelt es sich bei all diesen Farmen um Coastal Aquaculture-Anlagen, also Betriebe in unmittelbarer, geschützter Küstennähe.

In den USA wurden vor 12 Jahren erstmalig Genehmigungen für Open Ocean Aquaculture-Pilotstudien erteilt (ERICSSON, 1998). So erhielten *Sea Pride In-*

dustries als erster Antragsteller die Genehmigung, in Bundesgewässern Forschungen bezüglich der Kultivierung von Meeresorganismen durchzuführen (GOUDEY, 1998). Bis heute werden dort Genehmigungen nur für marine Aquakulturen in geschützten Gewässern (Buchten) vergeben. Nicht eine einzige Offshore-Anlage ist bis heute für die kommerzielle Nutzung genehmigt worden (Rosenthal pers. Komm.).

Tab. 4 Vorteile einer Open Ocean Aquaculture

Pro	
Bedarf, Kosten, Wirtschaft- lichkeit:	Bereitstellung von größeren Mengen an marinen Nahrungsmitteln und dadurch Deckung des vorhandenen Bedarfs und der wachsenden Nachfrage.
	Es bestehen Möglichkeiten zur Expansion.
	Zur Kostendeckung können zunächst die absatzstarken „High-Value“-Organismen gezüchtet werden. So werden die anfänglichen Betriebskosten sicher abgedeckt und die Anlage wirtschaftlich aufgebaut.
	Es besteht die multifunktionale Nutzbarkeit von vorhandenen Offshore-Vorrichtungen wie Ölplattformen, Windkraftwerke und andere Vorrichtungen. Dadurch werden die bestehende Infrastruktur genutzt und Kosten reduziert.
	Kosten für Equipment können eingespart werden (Rezirkulationsanlagen, Geräte zur Wasseraufbereitung und Stabilisierung der Wasserqualität)
	Es werden neue Arbeitsplätze in strukturschwachen Räumen der Nord-/Ostseeküsten geschaffen bzw. Arbeitsplätze gesichert, wenn die Bewirtschaftung der Anlagen von Fischern durchgeführt wird.
Technologie:	Auf aufwendige Pump- und Belüftungssysteme sowie Futterautomaten kann durch die vorherrschenden Wasserbedingungen verzichtet werden.
	Know-how für die Bewirtschaftung einiger Anlagen ist bereits vorhanden, so daß Grundlagenforschung nur für neue Techniken durchgeführt werden müßte.
Aquakultur & Umwelt:	Sauberes Wasser sorgt für eine gesunde Zucht, fern der verschmutzten urbanen Abwässer. Aufgrund guter O ₂ -Bedingungen können Besatzdichten im Gegensatz zu Kulturanlagen an Land erhöht werden.
	Rapide Wachstumsraten durch konstante Bedingungen der abiotischen Faktoren und geringe Krankheitsraten.
	Natürlichen Wildbestände/Ressourcen werden geschont, die bisher durch Überfischung unaufhörlich dezimiert wurden.
	Es sind keine oder nur geringfügig Baumaßnahmen erforderlich, wodurch die Umwelt kaum belastet wird.
Akzeptanz der Bevölkerung, der Fischer und anderer Nutzer:	Im Falle einer multifunktionalen Nutzbarkeit mit den Offshore-Windparks können OOA-Anlagen von den Fischern als Alternative für die Aufgabe des zuvor genutzten Fanggebietes genutzt werden.
	Die Küste als Naherholungsgebiet bleibt erhalten und wird nicht durch die intensive Nutzung großer Anlagen eingeschränkt.
	In Kombination mit den Windparks können die OOA-Anlagen für den Wochentourismus als Ausflugsziel dienen.

Tab. 5 Nachteile einer Open Ocean Aquaculture

Contra	
Bedarf, Kosten, Wirtschaftlichkeit:	Eventuell besteht nur eine geringe Frequentierung von Wartungs- und Versorgungsschiffen für die Offshore-Windparks, so daß durch den Einsatz eigener Schiffe höhere Kosten entstehen (bei intensiver Nutzung).
	Vorhandene Infrastruktur reicht nicht und muß kostspielig erweitert werden.
Technologie:	Die bisher erprobten Technologien und damit verbundenen Erfahrungen in der Haltung von Organismen können unter den physikalischen Bedingungen im Raum Nordsee fehlschlagen. Das erfordert Grundlagenforschung und somit weitere Kosten.
	Im Falle einer multifunktionalen Nutzbarkeit mit Offshore-Windparks liegen einige Parks in Gebieten mit geringer Wassertiefe. Das erschwert die Kultivierung einiger Organismen.
	Biofouling an schwimmenden Käfigen verursachen ein höheres Gewicht, was das Sicherheitsrisiko bei starken Strömungen erhöht und den Wasserdurchfluß vermindert. Hierdurch kann die Wasserqualität im Käfig leiden.
Aquakultur & Umwelt:	Umweltverschmutzung durch den Einsatz von Chemikalien und Antibiotika.
	Negative Interaktion mit dem Ökosystem (z. B. Echolokation von Meeressäugern).
	Bei intensiver Nutzung in größerem Rahmen entstehen immer noch Engpässe und Versorgungsschwierigkeiten bei der Deckung der Fingerlinge/Brut.
	Die genetische Diversität der Kulturorganismen kann eingeschränkt oder verändert werden, welche bei möglichem Austritt der Organismen in die Freiheit den Wildbestand verursacht werden.
Akzeptanz der Bevölkerung, der Fischer und anderer Nutzer:	Es wird eine wirtschaftliche Konkurrenz zu der angeschlagenen Fischindustrie aufgebaut.
	Es können Probleme bei der Schifffahrtsnavigation entstehen und das Unfallrisiko erhöhen.
	Aufgrund von ästhetischen Problemen gegenüber Windrädern an Land könnte eine Abneigung bzw. eine zu geringe Akzeptanz für Windparks-Aquakulturen im Offshore-Bereich bestehen.
	Die für die OOA-Anlagen verwendeten Flächen können von anderen Nutzern (z. B. Fischer oder Marine) nicht mehr befahren werden.
	Der hohe Besatz an Organismen löst Ablehnung wegen inhumaner Tierhaltung aus.

2.0 Besatz und Zucht

2.1 Brut

Für die Zucht von tierischen Organismen muß zunächst einmal die Versorgung an Jungtieren bzw. der Brut garantiert sein. Der Laichtierbestand ist meistens gering, so daß Flaschenhälse in der Bereitstellung von ausreichend Brutbestand und *Fingerlingen* (Setzlinge) existieren. Die Brutzucht-Technik ist bei einigen kultivierbaren Tieren für die Massenzucht noch nicht ausgereift. So muß ein Großteil der Fingerlinge gefangen oder bestehende Kapazitäten aus dem Ausland genutzt werden.

Da eine intensive Betreuung einer Aquakultur den gesamten Lebenszyklus eines jeweiligen Organismus beinhaltet, wird zumindest ein Grundbestand an Brut von den Farmern selber bereitgestellt. In diesem Falle wird die Brut in Rezirkulationsanlagen oder in geschützten Buchten gehalten. Im Falle der Lachszucht wird die Brut erst in einer Inshore-Anlage gezüchtet. Wenn die Lachse ein Gewicht von 1 kg erreicht haben, werden sie in Offshore-Käfige transferiert, wo sie dann bis zu einem Gewicht von 4 kg aufgezogen werden (CROKER, 1996).

Fischbesatz kann in großen Wasserbecken, die auf dem Deck des Versorgungsschiffes befestigt sind, transportiert werden. In einigen Fällen werden die Kulturorganismen schon im Hafen in die Käfige entlassen und werden dann langsam in den Aufzuchtbereich geschleppt. In diesem Zusammenhang muß untersucht werden, welche Möglichkeit streßfreier ist und die Kosten und den Aufwand dabei möglichst gering hält (CROKER, 1996). Dabei werden Versorgungs- und Arbeitsschiffe eingesetzt, die den Anforderung auf hoher See und den Arbeiten mit marinen Aquakulturen nachkommen können.

Zur Bewachung der Offshore-Anlage muß ein Size-Monitoring durchgeführt werden. Da eine Einstufung oder Sortierung nach Größen bei Fischen innerhalb eines Käfigs schlecht durchführbar ist, gibt es bestimmte Techniken und Geräte, die die gesamte Kultur scannen kann (siehe Teil I, Kap. 3.8 [*AquaScan*]).

2.2 Anforderungen an den Fischbesatz

Es können in der Offshore-Anlage nur diejenigen Organismen gezüchtet werden, die gesund sind und eine Mindestgröße erreicht haben, so daß sie eine ausreichende Widerstandsfähigkeit gegenüber den vorherrschenden abiotischen Bedingungen haben. Sie müssen aber neben den lokalen Umweltbedingungen auch in großen Besatzdichten gehalten werden können.

In intensiv genutzten Fischtanks werden 40-60 kg, in einigen Fällen bis zu 100 kg Fisch pro Kubikmeter gehalten. Letzteres ist nur durch die ständige künstliche Optimierung der äußeren Bedingungen möglich. *Gravity Cages* (Klasse I, siehe unten) können nicht so dicht besetzt werden, da sie kein stabiles Volumen garantieren. Klasse II-IV Käfige können neben vielen Vorteilen gerade in der Besatzdichte besser ausgenutzt werden, sind aber teurer. An landgestützten Farmen (Teichfarmen) findet ein kompletter Wasseraustausch gewöhnlich alle 45-60 Min. statt (BERGHEIM *et al.*, 1993). In solchen Anlagen kann sich, je nach Wassertemperatur, Flußrate und Besatzdichte, 9-20 mg O₂·L⁻¹ lösen. Das bedeutet, daß bei hohen Besatzdichten jedem Fisch höchstens 15-16 mg O₂·kg⁻¹·min⁻¹ zur Verfügung steht (LOVERICH, 1998c).

Bei Offshore-Anlagen sind diese Konditionen ungleich besser, da sie einen ständigen Frischwasseraustausch garantieren. Allerdings muß ein Standort gewählt werden, in dem eine gewisse Nettoströmung vorhanden ist. Beim Ausbleiben der Strömung können die Fische selber durch ihre Schwimmbewegung für einen vorläufigen Wasseraustausch sorgen und so für genügend O₂ in der Wassersäule garantieren. Dieser Vorgang funktioniert aber nur für kurze Dauer und kann dauerhaft schlecht versorgte Meeresareale nicht aquakulturtauglich gestalten.

2.3 Fütterung

Die Fütterung stellt einen wichtigen Aspekt bei der Zucht von aquatischen Organismen dar. Er nimmt bis zu 35 % des gesamten Arbeitsaufwandes ein und bis zu 60 % der Kosten (HUGUENIN, 1994).

Es wird Futter verwendet, das speziell für den kultivierten Besatz entwickelt wurde (BUCKLIN & HOWELL, 1998). Bisher werden hauptsächlich langsam sinkende Futterpellets verwendet, doch an der Wasseroberfläche treibendes Futter findet immer mehr Einzug in die Offshore-Aquakultur (TSUKROV *et al.* 2000). Futter mit Auftriebseigenschaften, das bei Unterwasser-Futterautomaten über ein Rohrsystem am Netzboden entweicht und senkrecht nach oben schwimmt, soll in Käfigen mit geringerem Fischbesatz genutzt werden, die sonst unter hohen Pelletverlust leiden.

Begleitend zur Fütterung läuft ein Futtermonitoring-Programm, daß folgende Punkte untersucht (MC ELWEE, 1998a): (1) Die Verwertung der Futter-Pellets: Haben alle Fische die gleiche Menge an Nahrung aufgenommen? (2) Der Gehalt des Futters: Sind genügend Fett-, Protein- und Kohlenhydratanteile vorhanden und ist das Verhältnis ausgewogen? (3) Pelletgröße: Kann der Fisch die Pellets leicht aufnehmen? (4) Fraßgewohnheiten der kultivierten Organismen (5) Wachstum (Länge/Gewicht).

Futter, das nicht verwertet auf dem Käfigboden zu liegen kommt, muß entfernt werden. Manche Käfige sind so konstruiert, daß das überflüssige Futter weiter nach unten fallen kann und nicht den Käfig verschmutzt. Doch darf der Anteil des nicht verwerteten Futters nicht zu groß sein, da sonst anoxische Verhältnisse am Boden entstehen können, wie es z. B. früher in einigen Lachs-zuchten in den Fjorden Norwegens vorkam.

Oft werden dem Futter Medikamente (Antibiotika) beigemischt. So kann garantiert werden, daß die Pharmaka für die Krankheitsbekämpfung/-vermeidung auch die kultivierten Organismen erreicht (siehe Teil I, Kap. 4.2).

2.4 Ernte

Um die Ernte kostengünstig und technisch einfach zu gestalten, müssen Vorkehrungen getroffen werden, um die Entnahme des Besatzes bei Erlangen der Marktgröße durchzuführen.

Jeder Käfig hat spezielle Vorrichtungen, um die kultivierten Organismen entnehmen zu können. Findet die Ernte vor Ort statt, so sind Kräne, Boote und je nach Bedarf spezielle Entnahmepumpen in Verwendung. TSUKROV *et al.* (2000) schlagen bei der Fischentnahme einen Käfigheber vor, wie er in Abb. 1 dargestellt ist. Ferner bieten sich integrierte „herding systems“ an („künstliche Schwarmbildung“). Dabei handelt es sich um ein Anliften des Netzbodens, um den Lebensraum innerhalb der Anlage zu verringern. Die Fische werden auf einen engeren Raum gedrängt und können so einfacher entnommen (Abb. 2).

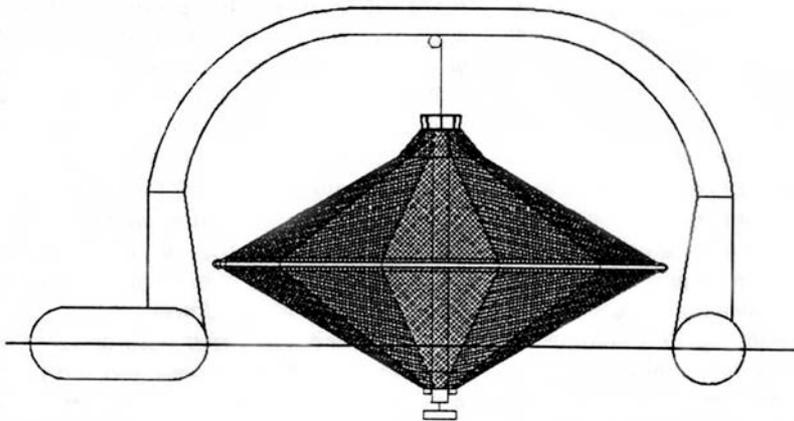


Abb. 1 Der Käfigheber (Katamaran) zum Anliften des Klasse III Käfigs aus dem Wasser. Nach LOVERICH & FORSTER (2000)

Wenn es der Besatz erlaubt, kann auch die gesamte Kulturanlage in den nächstgelegenen Hafen abgeschleppt werden, um dort die Entnahme vorzunehmen. Im allgemeinen bewährt sich letztere Methode, da

die Arbeit in geschützten Hafenanlagen besser durchzuführen ist (z.B. bei schlechtem Wetter, oder durch geeignetere Zugriffsvorrichtungen) bzw. näher an Folgeindustrien und Absatzmärkten ist.

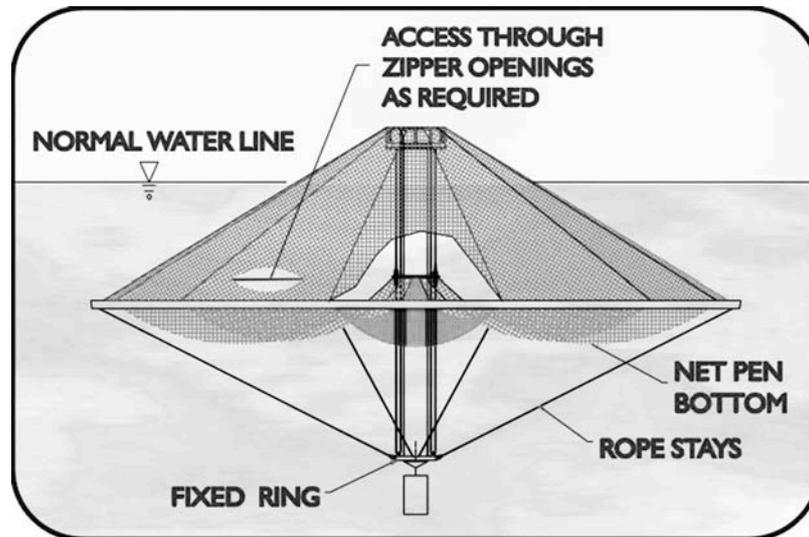


Abb. 2 Volumenverringern bei einem Klasse III Käfig (OST) für die Entnahme des Besatzes. Modifiziert nach OST (2001)

3.0 Technik

3.1 Anforderungen

3.1.1 Aquatische Umgebung

OOA-Kulturen sind einer hohen Belastung gegenüber saisonalen Wetterbedingungen ausgesetzt (BRAGINTON-SMITH & MESSIER, 1998). Das Hauptproblem bei der Konstruktion von Käfigen, Netzen, Leinen und Verankerungen ist die ständige Bewegung der Wassermassen (LOVERICH, 1997; LOVERICH & GACE, 1998). Das erfordert spezielle Systeme, die den vorliegenden abiotischen Umweltfaktoren entsprechen und den starken Strömungen, der gewaltigen Wellenkraft und der Eisdrift standhalten. Dabei muß das System so konstruiert sein, daß es durch seine eigene Masse oder durch die Gewichte, die beispielsweise Netze nach unten ziehen, nicht zusätzlich belastet wird (LOVERICH & GACE, 1998; LOVERICH & FORSTER, 2000). Netze können bis zu 90% ihres Volumens bei starker Strömung einbüßen (AARSNES *et al.*, 1990). Wesentlich ist also, daß ihr Volumen und ihre Gestalt konstant gehalten werden. Andernfalls kann für die Zuchtorganismen durch die Verengung des Käfigvolumens Streß entstehen, welcher Verletzungen oder sogar den Tod der Tiere zur Folge haben kann. Eine falsche Technik würde außerdem unnötige Kosten durch Reparatur und erhöhte Sterblichkeitsrate der Zucht verursachen. Überdies müssen sie den biotischen Umweltfaktoren wie Biofouling und den Bissen und Eindringversuchen von marinen Säugern oder Fraßfeinden standhalten.

3.1.2 Technisches Gerät

OOA-Anlagen müssen so konstruiert sein, daß sie leicht und von allen Seiten von Versorgungs- und Transportschiffen erreichbar sind und diese an ihnen festmachen können. Sie müssen Elektrizität zur Versorgung von Sensoren,

Monitoren, Alarmsysteme, Futterautomaten, Hebe- und Senkvorrichtungen und Beleuchtung haben. Zusätzlich muß Raum zur Verfügung stehen, um, wenn nötig, Arbeitsgeräte und Futter zu verstauen und ausreichend Platz zu bieten, damit Personal darauf arbeiten und bei Bedarf übernachten kann. LOVERICH & FORSTER (2000) schlagen das System einer *Black Box* vor. Hiermit ist eine Anlage gemeint, die unabhängig und ohne ständige Kontrolle bzw. Einmischung des Menschen operieren kann.

3.1.3 Standort

Bei der Standortwahl kann man sich für weniger bewegte Gewässer entscheiden und dort eine Fischfarm verankern (LOVERICH, 1997; LOVERICH & GACE, 1998). Doch geringe Strömung birgt den Nachteil, das es an gelöstem Sauerstoff mangelt, was zu hohen Sterblichkeitsraten führen könnte und keine hohen Besatzdichten erlaubt. Weiterhin werden die Abfallprodukte der Kulturorganismen nicht mit der Strömung mitgenommen und können eine Verschmutzung des umliegenden Gewässers verursachen. Die einzige Sicherheit über die Wasserqualität ist die vorherige sorgfältige Standortauswahl (LOVERICH, 1998a), nur sie kann langfristig gute Wasserqualitäten garantieren.

In diesem Zusammenhang lassen sich z. B. die Lachsfarmen Norwegens anbringen. Die in hohen Besatzdichten gehaltenen Zuchtorganismen brauchen ständig „Frischwasser“, um einerseits nicht verspeiste Nahrung und Abfallprodukte wegzubefördern bzw. genügend O₂ für die Lachse zu liefern. In den Fjorden liegt aufgrund der geschützteren Lage ein geringerer Wasseraustausch vor. Das führt dazu, daß der Faeces der Fische und nicht verzehrte Pellets kaum abtransportiert werden können und sich am Boden sammeln. Der dort stattfindende Abbauprozesse ist sauerstoffzehrend und kann bei der Fülle an zu verarbeitendem Material anoxische Verhältnisse entstehen lassen. Dieser O₂-Verlust kann für andere benthische „Wildorganismen“ zu einer starken Beeinträchtigung der Lebensweise oder gar zum Tode führen.

Um diese Gefahren zu minimieren, muß bei der Standortwahl darauf geachtet werden, daß eine gewisse Nettoströmung vorhanden ist, welche für den Abtransport der Abfallprodukte sorgt (sozusagen eine natürliche Dekomposition fördert). Gleichzeitig werden Kosten für aufwendige Belüftungssysteme reduziert.

Gegenüber küstennahen Marikulturen, die zu allen Wetterbedingungen und Jahreszeiten erreichbar sind und von Land aus beobachtet werden können, sind OOA-Anlagen nur bedingt zugänglich (und oft außer Sichtweite). Trotzdem sollte der geplante Standort für eine Offshore-Farm so nah wie möglich an bestehende Inshore-Anlagen oder weiterverarbeitende Industrien positioniert werden, um Kosten zu sparen. So könnte man die Inshore-Anlage für die Aufzucht der Brut verwenden und die Offshore-Anlage für das anschließende Abwachsen.

Da sich die Offshore-Kulturanlagen auf offener See befinden sind sie den Gefahren einer Kollision mit Schiffen und dem Eindringen von Säugern ausgesetzt. Sie müssen gegenüber Unbefugten unzugänglich und sicher verankert sein, denn die Anlage selber und der Besatz stellen einen hohen finanziellen Wert dar.

3.2 Forschung

Weltweit wird an der Entwicklung von Offshore-Systemen gearbeitet. Anlagen in exponierten Gebieten werden seit längerem konstruiert und geprüft (STICKNEY, 1998). Nach langen Testphasen in der Käfig- und Netztechnik sind Fisch-Aquakulturen in Bereichen mit stärkerer und exponierter Strömung möglich und heutzutage sogar mancherorts in Asien und Europa kommerziell nutzbar (CROKER, 1996; GOLDSTEIN, 1998; KIKUCHI, 1998; BRAGINTON-SMITH & MESSIER, 1998). In den USA gibt es eine Vielzahl von experimentellen Arbeiten über schwimmende sowie teilweise bis ganz unter die Wasseroberfläche absenkbare Systeme. Offshore-Käfigsysteme sind sehr verbreitet und für unterschiedliche Bedürfnisse konstruiert (BRAGINTON-SMITH & MESSIER, 1998).

Die *University of New Hampshire* (UNH) ist in Verbindung mit der *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) und dem *National Sea Grant Program* in den USA federführend bei der Entwicklung und dem Bau von Offshore-Systemen (BUCKLIN & HOWELL, 1998; TSUKROV *et al.*, 2000). Wissenschaftler haben Käfige konstruiert, Verankerungen designed und die verwendeten Materialien auf ihre Stabilität getestet. Gosz *et al.* (1996) erprobten den Einsatz von Unterwassersensoren zur Fernhaltung von marinen Säugern, SAVAGE *et al.* (1998) die Verwendung von resistenten Produkten gegen Biofouling. Ferner wurde ein breites Spektrum an potentiellen Zuchtorganismen auf ihre Aquakulturtauglichkeit überprüft (z. B. Flundern, Kabeljau, Kammuscheln, Austern und Makrophyten) (HOWELL, 1980; HOWELL, 1996; LESSER & SHURNWAY, 1993; LANGAN *et al.*, 1992; LESSER *et al.*, 1992).

Die Entwicklung und Programmierung gewinnt immer mehr an Bedeutung bei der Konstruktion von Käfigsystemen und seinen Verankerungen. Der *National Marine Fisheries Service* (NMFS, Abteilung der NOAA) unterstützte ein Projekt an der *University of Maine* (UM), in dem DUDLEY, PANCHANG und NEWELL (1998) den *Aquaculture Waste Transport Simulator* (AWATS) entwickelten. Dieses Programm gibt Auskünfte über die Verteilung von Abfällen aus der Fischzucht in der angrenzenden Umgebung in Abhängigkeit von der vorherrschenden Strömung, dem Wellengang oder anderen abiotischen Parametern. SWIFT *et al.* (1998) entwickelten an der UNH das Computerprogramm *MENTAC/MARC*, das durch künstlich simulierte Wellen neu entwickelte Käfiggerüste auf ihre Sicherheit gegenüber lang andauernder Wellenexposition, Strömungen und Stürmen testen kann. Mit Hilfe von *NLFEA* (non-linear finite element analysis) wurde die Belastung durch starke, externe Kräfte auf Käfig-Modelle getestet (LOVERICH, 1991a). Andere Computermodelle wie *ABAQUS AQUA™* und *ABAQUS PRE™* werden eingesetzt, um die Wirkung von Strömung und Wellen auf die Deformation des Netzkäfigs zu berechnen und mit den gewonnenen Erkenntnissen neue Prototypen für Unterwasserkäfige zu entwickeln (GIGNOUX & MESSIER, 1998). An dem *Jere A. Chase Ocean Engineering Laboratory* (JACOEL) wurden Verankerungen und Sicherungssysteme auf ihre Belastbarkeit und Sicherheit ge-

testet (FREDERIKSSON *et al.*, 1999; TSUKROV *et al.*, 1999). Dazu wurden kleinere Modelle, meist in einem Maßstab von 1:25, gebaut, an denen dann Zugtests und Anfälligkeiten gegenüber monochromatischen Wellen in künstlichen Bassins der *JACOEL* erprobt wurden (BALDWIN *et al.*, 2000). Programme wie *RIFLEX* erleichterten die Wahl bei dem Einsatz von Single- oder Multipoint-Verankerungen (WILLINSKY & HUGUENIN, 1996).

Im folgenden werden die typischen Käfig-Designs, Netze & Leinen, Verankerungssysteme, Strömungsbrecher, Futterautomaten & -silos, sowie andere technischen Geräte, die bei der Kultivierung im Offshore-Bereich benötigt werden, kurz dargestellt.

3.3 Käfig-Design: Unterteilung in verschiedene Typen

Bei den verschiedenen Systemen, die weltweit produziert und den unterschiedlichsten Bedingungen angepaßt sind, sind viele Gemeinsamkeiten in Aufbau und Technik vorhanden. *Aqua System* aus Norwegen baut ähnliche Käfigsysteme wie *Seacon Systems*, Käfige von *Dunlop* ähneln den *PolarCircle* Schwerkraftkäfigen aus Norwegen. Hersteller wie die *Bridgestone Corporation* aus Japan, *SADCO*, *SeaCage*, *Aqua Tech*, *Ocean Spar Technologies (OST)*, *Farmocean* oder *Northern Plastics* und viele weitere Firmen bauen Käfige für die Verwendung im Offshore Bereich. Hier sollen nur die herausragenden Systeme stellvertretend für viele andere erläutert werden.

Die Werkstoffe, aus denen die Käfiggerüste hergestellt werden, müssen extrem stabil sein, korrosionsbeständig, Biofouling reduzieren und den verschiedenen abiotischen Bedingungen zu allen Jahreszeiten über einen langen Zeitraum standhalten. Die verwendeten Materialien bestehen meistens aus Polygon, Polypropylen, Polyäthylen oder starken Metallen.

Man kann die angebotenen Käfigsysteme in verschiedene Kategorien unterscheiden. DAHLE (1995) und LOVERICH & GACE (1998) unterteilen die Anlagen in Käfigsysteme, die aus (a) einem oder (b) mehreren Einheiten bestehen, (c) in geschützter Küstennähe betrieben werden, oder den (d) stärkeren Kräften im

offenen Ozean standhalten müssen. Die *UNH* unterscheidet in (a) starre oder (b) elastische Käfige in Bezug auf das Standhalten des Gehegevolumens gegenüber starken Strömungen, in (c) an der Wasseroberfläche treibende oder (d) tauchbare Systeme sowie bezüglich passierender Wellen in (e) transparente oder (f) nachgebende Käfigsysteme. Die häufigste Unterteilung geht nach vier Systemklassen, die nach ihrer Eignung gegenüber starker Strömung und Wellenkräften unterschieden werden (LOVERICH, 1997; BRAGINTON-SMITH & MESSIER, 1998; LOVERICH & GACE, 1998; LOVERICH, 1998a; LOVERICH & FORSTER, 2000): (I) die Schwerkraftkäfige, (II) die Käfige, die unter ständiger Spannung von außen ihre Gestalt beibehalten und fest am Ort verankert sind, (III) die Käfige, die aufgrund ihrer Bauart und Konstruktion sich selbst unter Spannung offen halten und so Gestalt und Volumen erhalten und (IV) die Käfige mit festen, starren Rahmen, die kastenförmig miteinander verbunden sind und rundum mit Netzen überspannt sind. Nachfolgend werden diese vier Systemklassen kurz vorgestellt.

3.3.1 Klasse I Käfige

Anlagen dieser Klasse werden als *Schwerkraftkäfige (Gravity Cage)* bezeichnet, wie z. B. die *POWERINGS* der Firma *Farmocean*. Sie gehören zu den an der Wasseroberfläche treibenden meist kreisrunden Anlagen (*Floating Net Pens*). Sie werden durch Bojen an der Wasseroberfläche gehalten und mit Gewichten am Netzende nach unten gezogen. So herrscht eine ständig allseitige Spannung. Bei unbewegtem Gewässer wird ein konstantes Volumen garantiert (Abb. 3). Nachteilig in so einem beweglichen System ist, daß bei starker Wellenbewegung die Gewichte je nach Wellenberg und -tal auf- und abwandern. Die Beschleunigung der Gewichte nach unten kann verlangsamt sein, wodurch sich das Volumen verringert (BRAGINTON-SMITH & MESSIER, 1998; LOVERICH, 1998a; LOVERICH & FORSTER, 2000). Ein ähnlicher Typ ist der *Gravity Tensioned Leg Cage*, der durch Bojen an der Oberfläche gehalten und unter Spannung am Boden befestigt wird (Abb. 4). Allerdings kann auch hier bei starker Strömung

das Volumen verändert bzw. der gesamte Käfig unter die Wasseroberfläche gezogen werden. Die russische Firma *SADCO* hat als erste solche Käfige gebaut, ist allerdings später auf Käfige der Klasse III umgestiegen. Ein weiterer Hersteller von *Gravity Tensioned Leg Cages* ist die norwegische Firma *MARINTEK* (LISAC, 1996).

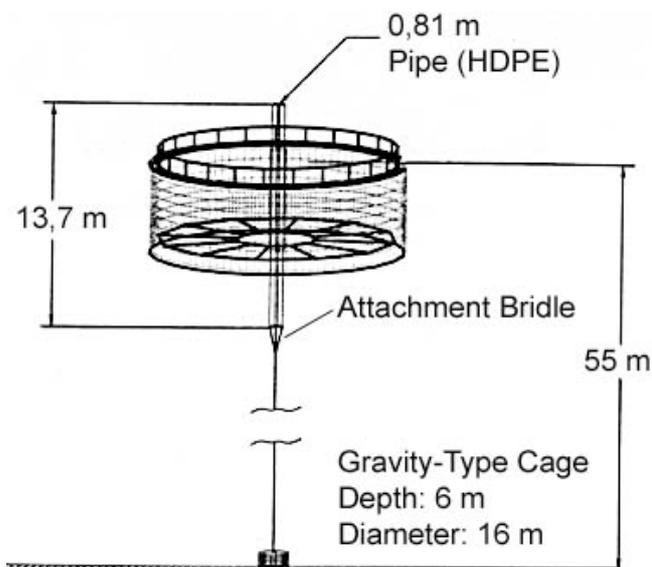


Abb. 3 *Gravity Cage* oder Klasse I Käfig mit einer Singlepoint-Verankerung. Nach LOVERICH & FORSTER

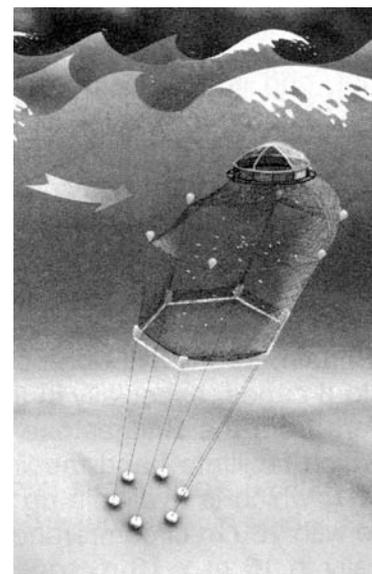


Abb. 4 *Gravity Tensioned Leg Cage* oder Klasse I Käfig der Firma *Refa*. Nach LISAC (1996)

3.3.2 Klasse II Käfige

Dieses sind *Anchor Tensioned Cages*, wie der *Ocean Spar Sea Cage*[®] von *OST* (Abb. 5a/b). Sie werden fest am Boden verankert und behalten bei Strömungen bis 1 m/s 95 % ihres Volumen und ihrer Gestalt, bzw. bei Strömungen bis 2 m·s⁻¹ 90 %. Sie sind so konstruiert, daß die Kräfte, die von außen auf die Netzwand wirken, die Ankerleinen unter Spannung halten und so einer Defor-

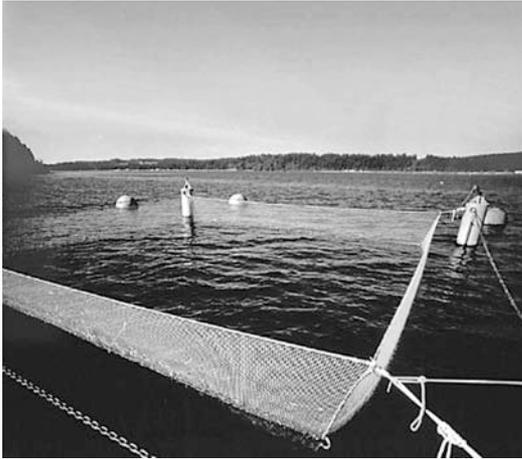


Abb. 5a/b *Anchor Tensioned Cages* oder Klasse II Käfige der Firma *OST*. OST (2001)

mierung entgegen wirken. Das ist gegenüber den konventionellen Käfigen ein entscheidender Vorteil und erlaubt so eine höhere Besatzdichte. Dafür spricht außerdem der gute O_2 -Austausch bei schon geringen Strömungen: bei Strömungsgeschwindigkeiten von $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ werden die 6.000 m^3 Wasservolumen innerhalb des Käfigs in nur 20 s erneuert. Die Konstruktion dieser Anlage ist sehr einfach, sie kann in kurzer Zeit aufgebaut und auch erweitert werden. Das zeigt sich vorteilhaft in der Errichtung, der Wartung und der Pflege dieser Systeme, die durch den Betreiber selbst vorgenommen werden kann. Die Spannung im Netz vereinfacht die Pflege, wie z. B. das Entfernen von Biofouling. Nachteilig bei dieser Konstruktion ist, daß unter Verlust der Ankerspannung der Käfig kollabiert und außerdem nicht geschleppt werden kann. Gegenüber Freßfeinden wirkt sich die Netzspannung so aus, daß diese daran gehindert werden, mit ihrem Maul das Netz einzudrücken und durch die dann folgende Volumenverringerng den Besatz attackieren können.

3.3.3 Klasse III Käfige

Diese Gehege haben oft eine hexagonale oder runde, konische oder bikonische Form (*Self-tensioned & Self-supporting Cages*) und sind in der Regel zu $\frac{2}{3}$ ihrer Gesamthöhe in die Wassersäule eingelassen, wie z. B. der *Semi-Rigid Sea Station* von OST (OST, 2001; Abb. 6) oder Käfige der Firma *Farmocean* (FARMOCEAN, 1996; Abb. 8). Sie können ein Volumen bis zu 3.000 m³ bzw. 6.000 m³ aufweisen (LOVERICH, 1991a/b; FARMOCEAN, 1996). Sie sind

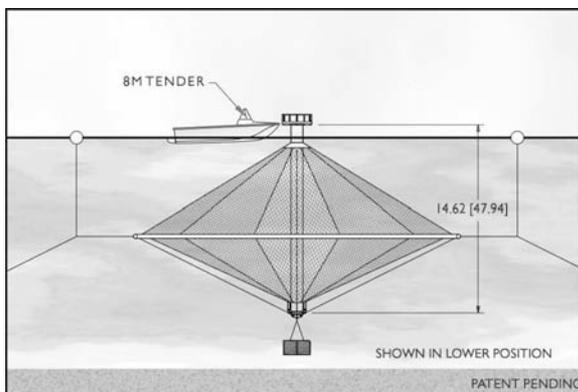


Abb. 6 Self-tensioned/supporting Cages oder Klasse III Käfige der Firma OST. OST (2001)

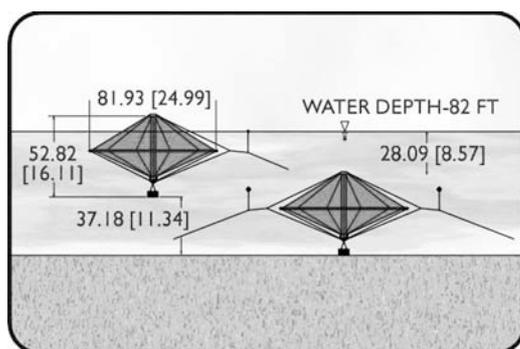


Abb. 7 Klasse III Käfige, an der Oberfläche und abgesenkt. OST (2001)

so konstruiert, daß die Säulen und Pfeiler des Käfigs, unabhängig von ihrer Verankerung, unter ständiger Spannung stehen und sich so der Käfig selbst stützt. Diese sind miteinander verschnürt und als ganzer Käfig an einer Mittelsäule elastisch aufgehängt. Trotz Wellenbewegung bzw. Verlust der Verankerung können sie so ihre Gestalt bewahren, das Netz wird dabei nicht deformiert.

Manche Anlagen (OST) haben ihren Auftriebskörper in der Mittelsäule (*spar buoy*) oder als Ring in 2-3 m Tiefe am Gerüst angebracht (*Farmocean*), so daß kurze Wellen den Netzkörper passieren können ohne große Veränderungen hervorzurufen. Längere Wellen bewegen das gesamte System in gleicher Phase. Der Grund dafür ist, daß der eigentliche Auftriebs-

körper, ob als Säule oder in 3 m Tiefe, sich an einem Ort befindet, wo die Orbitalbewegung des Wassers kleiner ist als an der Oberfläche.

Diese Anlagen können auch größeren Strömungsgeschwindigkeiten widerstehen ohne dabei die Gestalt zu verändern bzw. das Volumen zu verringern. Bei zu starken Strömungen oder sturmartigen Wetterbedingungen kann der Käfig von OST in wenigen Minuten in tiefere Wasserbereiche abgelassen bzw. völlig untergetaucht werden und bei Verbesserung der Wetterlage wieder gehievt werden (OST, 2001). Beim Absenken wird die Luft aus dem Auftriebskörper gelassen bzw. dieser beim Hieven wieder gefüllt. Abb. 7 zeigt das Käfigverhalten einer Klasse III Anlage im untergetauchten Zustand und an der Wasseroberfläche. Käfige des Herstellers *Farmocean* können nicht völlig unter die Wasseroberfläche getaucht werden und sind daher hauptsächlich in geschützten Buchten oder küstennahen Gewässern anzufinden. Sie gelten aber gegenüber Wellenhöhen von 10 m und mehr als sicher (FARMOCEAN, 1996).

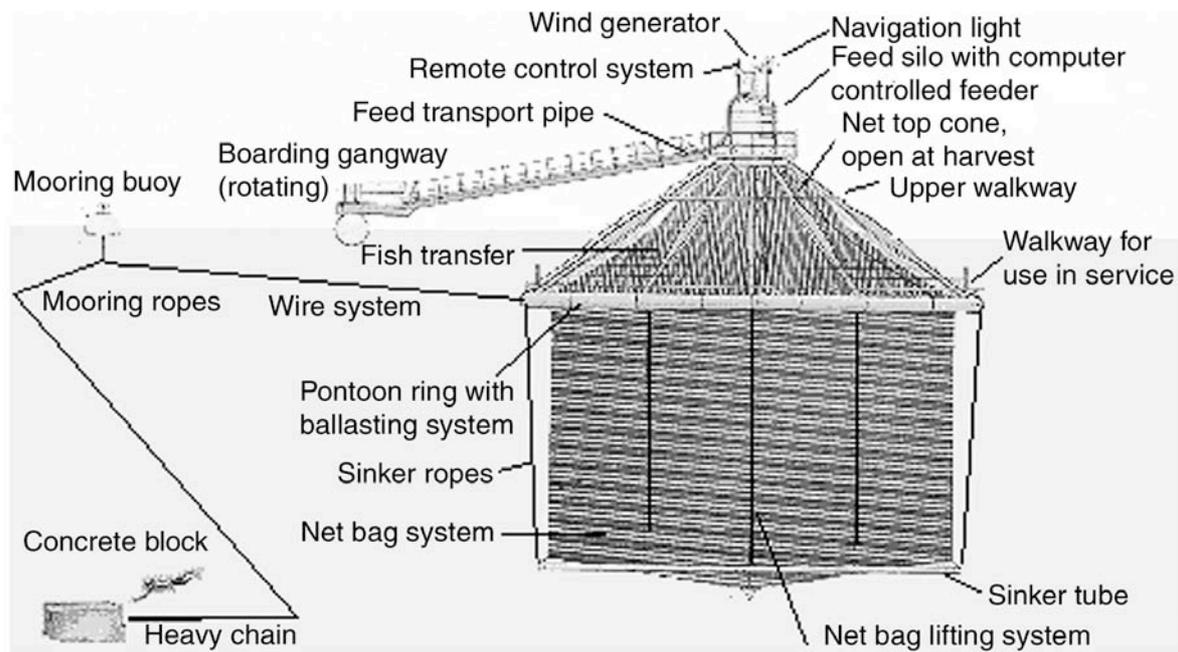


Abb. 8 *Self-tensioned/supporting Cages* oder Klasse III Käfige der Firma *Farmocean*. FARMOCEAN (1996)

Auf der Spitze der Mittelsäule befindet sich eine Arbeitsplattform, die ausreichend Platz zu Pflegetätigkeiten oder Fütterung bietet. Bei Gehegen von *Farmocean* ist dort serienmäßig ein computergesteuerter Futterautomat installiert, der die Anlage automatisiert und so bei Nichterreichen aufgrund schlechten Wetters unabhängig macht. Je nach Ausstattung kann dieses System mit Sensoren zur Messung von Strömung, Temperatur, O₂ und anderen Geräten bestückt werden und die aufgezeichneten Daten an Land senden. Diese Früherkennung kann im Vorfeld zu einer Streßvermeidung der kultivierten Organismen führen.

Die Netze an den Käfigen erleichtern durch seitliche Einstiegstaschen Tauchern den Zugang zum Käfiginneren, damit Wartungs- und Pflegearbeiten durchgeführt werden können. Ferner gibt es Einstiegsluken von der Arbeitsplattform aus.

Die Fischentnahme gestaltet sich sehr einfach, da das untere Netz mit Hilfe einer Hebevorrichtung entlang der Mittelsäule nach oben gezogen werden kann und sich so durch die Volumenverringerng mehr Fische auf weniger Raum befinden.

Die meisten Käfige dieser Klasse können mit Booten geschleppt werden. So kann schnell ein Ortswechsel vollzogen werden, was sich gerade bei Verschlechterung von Umweltbedingungen, wie Algenblüten oder anthropogenen Wasserverunreinigung sowie bei dem Transfer von Juvenilen zum Abwachsen in Offshore-Gebiete als vorteilhaft erweist.

Ein weiterer Typ ist der *Pull-Up Pen* (PUP) vom *Ocean Engineering Center* der UNH, der wie bei Käfigen der *OST* versenkt werden kann (GIGNOUX & MESSIER, 1998). Diese Anlage kann über einen längeren Zeitraum in bodennahen Wasserschichten gehalten werden und eignet sich daher für die Zucht von demersalen Organismen wie z. B. bei Plattfischen oder anderen Arten. Durch Hinzunahme eines weiteren Netzes können Fische selektiert entnommen werden.

Die Firma *Aqua Tech* aus Österreich baut Gehegesysteme, die in der Aufsicht die Form eines Neunecks zeigen, aber nur durch drei schräge Verbindungen gehalten werden. Windstärken von 8-9 bzw. Wellenhöhen bis 9 m bereiten der Anlage keine Probleme, denn spezielle Signalbojen erfassen die schlechten

Bedingungen vor Ort und senden die Daten zur Station an Land. Von dort werden die Käfige dann ganz unter die Wasseroberfläche abgesenkt. Mittels eines Unterwasser-Futterautomaten kann der Besatz trotzdem versorgt werden. Diese Gehege sind etwas kleiner als die von *OST* oder *Farmocean*, haben jedoch alle Funktionen, die für das Monitoring der biotischen und abiotischen Faktoren bzw. für die Arbeiten „an Deck“ benötigt werden.

Der von *OST* konstruierte *Sea-Station Ocean Drifter* mit einem Volumen von 25.000 m³ und mehr ähnelt äußerlich der *Semi-Rigid Sea Station*, ist allerdings nicht verankert und treibt mit der Strömung (Abb. 9). Ein Vorteil ist, daß dadurch die organischen Abfallprodukte über einen großen Raum verteilt werden und keinen ökologischen Schaden verursachen können. Weiterhin kann der *Ocean*

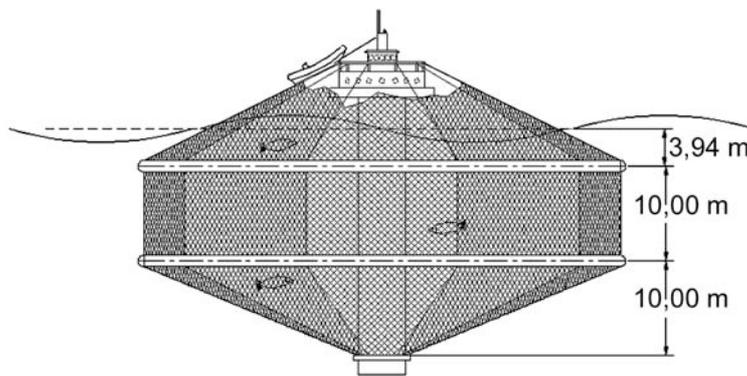


Abb. 9 *Sea-Station Ocean Drifter* von *OST*. Nach LOVERICH & GACE (1997)

Drifter leicht aus einer Gefahrenzone (Verschmutzung, Algenblüte, schlechte O₂-Bedingungen) entfernt werden (GOUDEY, 1998). Stationen dieser Art müssen bemannt sein.

Die Firma *Trident Ltd.* aus Kanada war an

der Entwicklung des *Trident Sea Cage* beteiligt, der ebenso, wie die Modelle von *OST* und *Farmocean*, sein Volumen und seine Gestalt durch die von dem Gerüst aufgebaute Spannung hält. Auch hier befindet sich der größere Teil des Käfigs unter der Wasseroberfläche (DAHLE, 1995). Der herausragende Unterschied ist allerdings, daß es sich hier um eine völlig andere Form handelt, nämlich einer Kugel, die an ihren Wänden flache, scheibenartige Strukturen aufweist und schon vor vielen Jahren von dem Institut für Meereskunde in Kiel konstruiert wurde (Rosenthal pers. Komm.). Diese Käfige können völlig untergetaucht bis in Tiefen von 100 m operieren (TRIDENT, 1994) und in exponierten Gebieten eingesetzt werden (WILLINSKY *et al.*, 1991; WILLINSKY, 1993). Ein wei-

terer Vorteil ist die Rotationsfähigkeit des Käfigs, so kann in regelmäßigen Zeitabständen der Käfig gedreht und so der Aufwuchs an der Netzwand reduziert werden.

3.3.4 Klasse IV Käfige

Käfige dieser Klasse sind völlig starr und haben eine kastenartige Gestalt (*Rigid Sea Cage, Rigid Floating Net Pen*), die wiederum in einen oder mehrere Käfige unterteilt werden können (Abb. 10). Aufgrund dieser festen Struktur behalten sie immer ihre Gestalt und ihr Volumen. Dieses ist allerdings eine ältere Konstruktion und wird kaum noch verwendet und ist außerdem extrem kostspielig (LOVERICH & FORSTER, 2000).

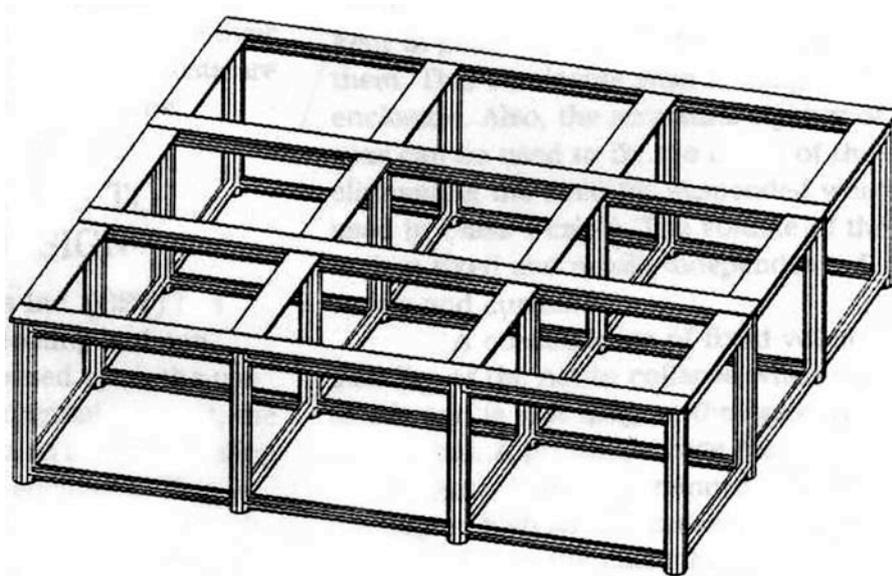


Abb. 10 Rigid Sea Cage / Klasse IV Käfig. Nach LOVERICH & GACE (1997)

3.3.5 Weitere Käfige, die nicht in die Klassen I-IV einzuordnen sind

Die Firma *SADCO* hat eine Reihe von Offshore-Käfigen gebaut, von denen einige nicht in die obige Einteilung passen. Solche Systeme sind z. B. der *KITEZH-500*, eine Anlage, an der um eine zentrale Arbeitsplattform wabenförmig Gehegekästen angebracht werden und als ganzes tauchfähig ist (Abb. 11a), (BUGROV, 1996).

Für die Zucht von Muscheln können auch kleine Käfige verwendet werden, die innen eine möglichst große Oberfläche bieten und mit einem geeigneten Substrat ausgekleidet sind. Ein Beispiel wäre der Kultivator von *SeacageTM* (OSS, 2000). Er hat eine Größe von 1 x 1,2 m mit einer Oberfläche von 8 m² und mehr. Das Netz, welches den Kultivator ummantelt, kann einfach entfernt und durch ein neues sauberes Netz ausgetauscht werden. Er wird für die Zucht von Abalone, Seeigeln, Seegurken und Muscheln verwendet (Abb. 11b), (OSS, 2000).

Die *Sea TrekTM Netztonnen* von *Sea Pride* haben eine kreisrunde Anordnung von sechs zylindrischen Einheiten um eine zentrale Arbeitsplattform und können sowohl an der Wasseroberfläche, als auch untergetaucht verwendet werden (Abb. 11c). Sie sind speziell für den Offshore-Bereich konstruiert worden, konnten sich aber auf dem Markt wegen der hohen Kosten nicht recht durchsetzen (BEST *et al.*, 1996).

Eine auf den ersten Blick etwas utopische Konstruktionsidee stellt der *Offshore-Fish-Farmer* dar (Abb. 11d). Es handelt sich dabei um ein Vehikel, das, angetrieben durch die Umsetzung von Wellen- und Windenergie in Elektrizität, führerlos über die Ozeane treibt und dabei Fische, die sich in der Nähe des Vehikels aufhalten, einfängt und züchtet. Die gesamten Aufgaben eines Farmers würden in automatisierter und selbstständiger Form von dem Offshore-Fish-Farmer übernommen werden, wie die Zucht, die Kontrolle der biotischen und abiotischen Parameter, die Reinigung der Käfige und das Entfernen von Biofouling, die Fütterung, sowie die selektive Entnahme von verendetem Fisch und letztendlich die Steuerung des Schiffs (ITSAZI, 2001).

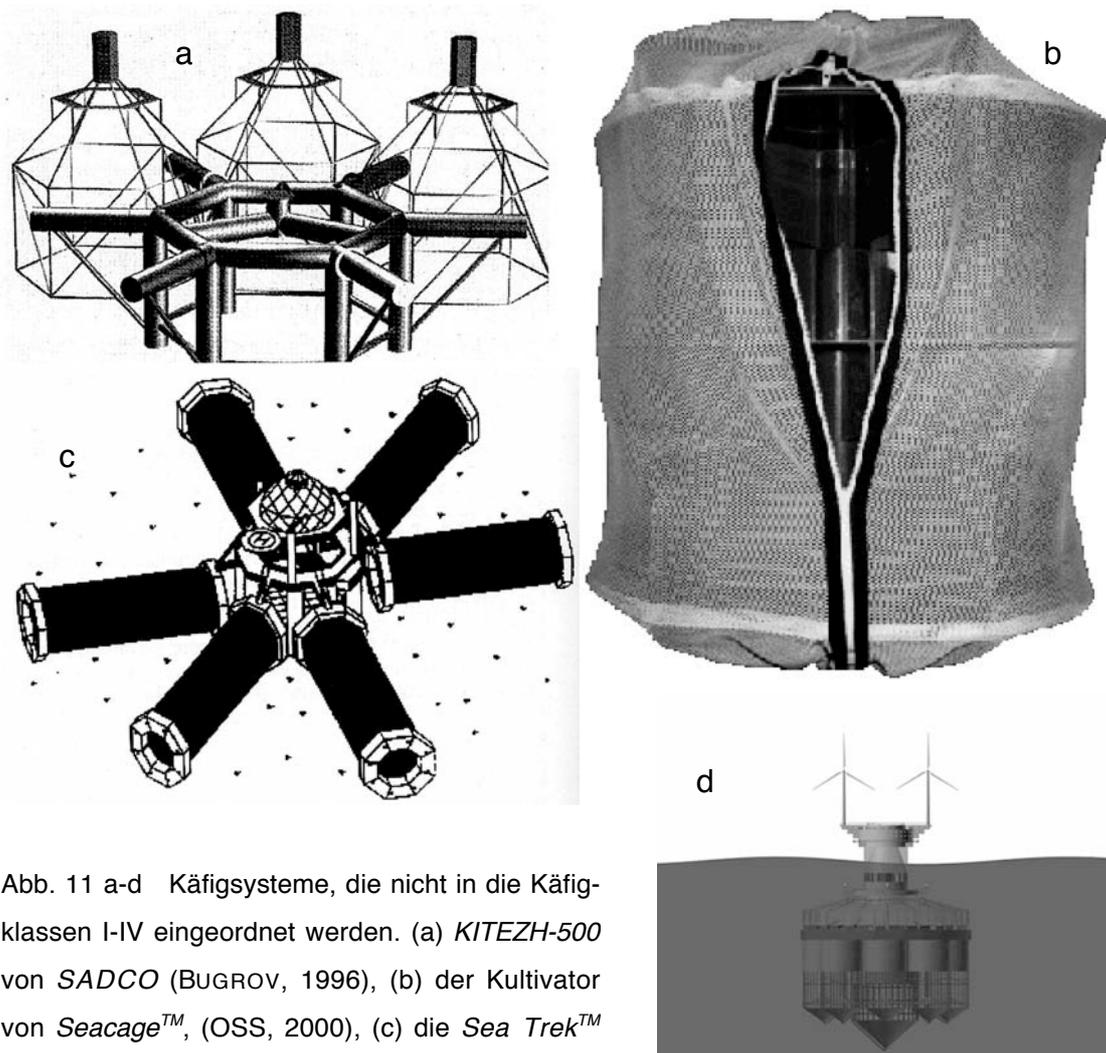


Abb. 11 a-d Käfigsysteme, die nicht in die Käfigklassen I-IV eingeordnet werden. (a) *KITEZH-500* von *SADCO* (BUGROV, 1996), (b) der Kultivator von *Seacage™*, (OSS, 2000), (c) die *Sea Trek™* Netztonnen von *Sea Pride*, (BEST *et al.*, 1996) und (d) der *Offshore-Fish-Farmer* (ITSAZI, 2001).

3.3.6 Käfigvergleich der Klassen I-IV

Die Schwerkraftkäfige sind in Bezug auf Strömung gegenüber den anderen Modellen sehr anfällig (LOVERICH, 1997; LOVERICH & GACE, 1998). Ihre elastisch hängenden Netze erwidern die Orbitalbewegung des Wassers und sind so in ständiger Bewegung, wodurch unberechenbar hohe Kräfte auf einzelne Seile einwirken können und eine Volumenveränderung verursachen. Diese kontinuierliche Lebensraumveränderungen verursachen Streß und die damit verbun-

denen Folgen (z. B. Reduzierung des Besatzes). LOVERICH & FORSTER (2000) haben die Widerstandskraft der Netze gegenüber unterschiedlich starker Strömung gemessen und als Divergenzvolumen definiert. Dabei haben von den Käfigklassen I-IV letztere am besten abgeschlossen (Tab. 6).

Tab. 6 Divergenzvolumen der Käfigklassen I-IV. Modifiziert nach LOVERICH & FORSTER (2000)

Käfig-Klasse	Divergenzvolumen	relatives Divergenzvolumen
Klasse I	2	500
Klasse II	0,065	15
Klasse III	0,012	3
Klasse IV	0,004	1

Die Abbildungen 12a und 12b zeigen die Veränderung der Käfiggestalt unter Einwirkung von einer Strömung von $125 \text{ cm}\cdot\text{sec}^{-1}$. Während sich bei Käfigen der ersten Klasse I die gesamte Gestalt verformt wird und der Strömung nachgibt, so kann die *Semi-Rigid Sea Station* mit der gesamten Anlage untertauchen ohne ihre Gestalt zu verändern. Somit müssen die Netze von Schwerkraftkäfigen durch die ständige Gefahr der Verformung durch die Dauerbelastung widerstandsfähiger sein (Abb. 12c/d), was sich folglich in Mehrkosten widerspiegelt. Je größer das Gewicht als Zuglast nach unten wirkt, um das Volumen bzw. den Lebensraum zu stabilisieren, desto mehr müssen die Netze belastbar sein. Aus Untersuchungen von *OST* und *NEC Systems Inc.* geht hervor, daß die Netze von Schwerkraftkäfigen 4 mal stärker sein müssen, als Netze von der *Semi-Rigid Sea Station*, was folglich das 4fache an Netzgewicht zur Folge hat. Bei Zusammenbruch oder Einfaltung der Netzwand entsteht außerdem ein Risiko für Taucher, die sich bei der Wartung und anderen Arbeiten im Netzinneeren aufhalten.

Die restlichen Modelle können zwar der Strömung widerstehen, jedoch sind die Kräfte, die auf die gesamte Anlage wirken, aufgrund der größeren angreifbaren Oberfläche gewaltig. Da würde die Einteilung nach LOVERICH & GACE (1998) und DAHLE (1995) in Käfige für geschützte Buchten mit wenig Wasserbewegung gegenüber Käfigen für Open Ocean Bereiche passender sein. Das automatische Abtauchen der *Semi-Rigid Sea Station* oder der *PUP* in tiefere Bereiche, wo Kräfte bzw. Strömungen mit der Tiefe abnehmen, unterstreicht die Sicherheit dieser Anlagen bei starken Stürmen. So werden keine gefährlichen Einsätze bei starken Stürmen durch Menschenhand zur Rettung der Anlage und den Besatz benötigt.

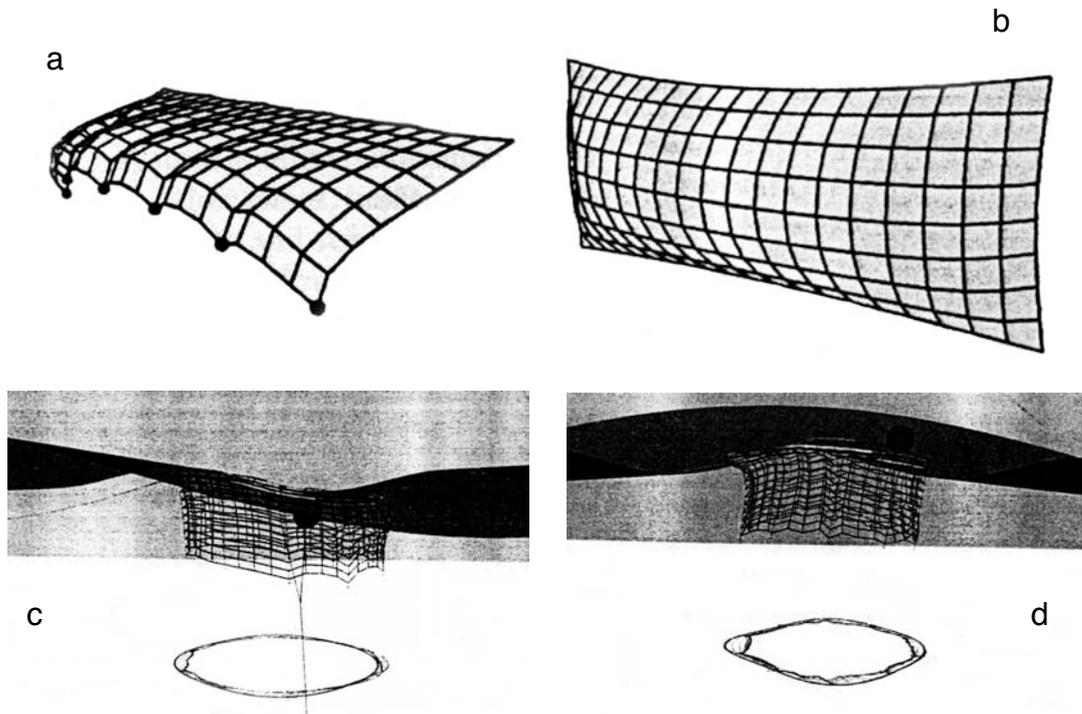


Abb. 12 a-d Veränderungen der Käfigform und Einschränkung des Volumens durch Strömungen von 125cm/sec und Bewegung an der Oberfläche bei Klasse I/II Käfigen. (a) Klasse I Strömung, (b) Klasse III Strömung, (c) Klasse I Wellental und (d) Klasse III Wellenberg. Nach LOVERICH & FORSTER (2000)

3.4 Leinen und Netze

Schon Anfang der 20er Jahre wurden in China Netze zwischen Bambusstöcken gespannt, um Rotalgen zu züchten. Diese wurden meist in der Gezeitenzone aufgestellt, damit durch das Trockenfallen der Pilzbewuchs reduziert wird. Braunalgen wurden an Schnüren gezüchtet, die entweder von Leinen oder Flößen herabhingen (OTT, 1996).

Langleinsysteme werden seit Mitte des 20. Jahrhunderts auch für die Kultur von Kammuscheln und Austern verwendet (DUPOUY, 1983; MERINO, 1998). Für diese Art der Marikultur sind bestimmte abiotische Bedingung, wie Wassertiefe, Strömungsgeschwindigkeit, die Größe der exponierten Leinenfläche, Foulingrate etc. von entscheidender Bedeutung (MERINO, 1996). WALTER vom Forschungszentrum *Terramare* in Wilhelmshaven züchtet Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) an Langleinensystemen als Hängekultur.

Es gibt verschiedenartige Leinensysteme, wobei Hänge-Kulturen (raft culture) oder Kulturen an der Wasseroberfläche (surface culture), sowie untergetauchte Leinen am meisten verwendet werden (BONARDELLI, 1996). Hängekulturen sind sehr verbreitet und finden ihren Ursprung in Japan (AOYAMA, 1989), sind aber auch in Südeuropa in Gebrauch. Die Leinen sind an Flößen oder anderen Schwimmkörpern befestigt und bieten das Substrat für die Muscheln (im weiteren Textverlauf stehen Muscheln neben der erwähnten Mytilikultur stellvertretend für die Kultur von Makroalgen). Kulturen an der Wasseroberfläche sind Predatoren näher und leiden unter starkem Aufwuchs. Untergetauchte Langleinen werden in der Regel ca. 10-15 m unter Wasseroberfläche angebracht oder, wenn möglich, 5 m oberhalb des Bodens. Untergetauchte Leinen werden in Gegenden mit starker Strömung und hohen Foulingraten verwendet, wobei Leinen an der Oberfläche bevorzugt an geschützten Gegenden installiert werden. Weiterhin verhalten sich Leinen an der Wasseroberfläche bewegungslos, untergetauchte Leinen jedoch elastisch und beweglich.

Untergetauchte Langleinenkulturen werden in drei Abteilungen untergliedert (Abb. 13): (a) Das Ankersystem stabilisiert die gesamte Kulturanlage am Boden gegenüber allen mechanischen Kräften. An dem Ankersystem hängt die An-

kerleine und schließt mit einem Auftriebskörper ab. Die Verbindungen der Auftriebskörper aller Verankerungssysteme werden als (b) Hänge- oder Treibsystem bezeichnet. Dieses sorgt dafür, daß die Kulturleine in einer bestimmten Wassertiefe gehalten wird, so daß durch Wellenbewegung die Muscheln nicht über den Boden gezogen werden oder an die Wasseroberfläche gedrückt werden. Das (c) Abwachssystem dient der Muschelzucht und hängt an den Treibsystemen.

Die genaue Konstruktion der Einheiten a-c hängen weiterhin von den zu kultivierenden Organismen ab und können für jede Lebensphase der Muscheln unterschiedlich gestaltet sein. In welchem Winkel bei der Seitenansicht das Treibsystem zu der Ankerleine steht, spielt eine entscheidende Rolle bei der Elastizität des Systems und für den zur Verfügung stehenden Platz (BONARDELLI, 1996). Die Abstände zwischen den Leinen hängen von der Besatzdichte, der Belastbarkeit der Ausrüstung und der Produktivität der Umgebung ab (MERINO, 1998).

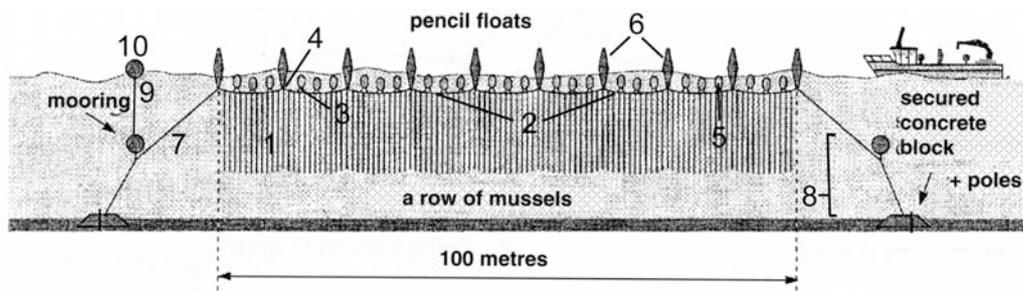


Abb. 13 Ankersystem von Langleinkulturen. (1) Hängekulturen/Abwachssystem, (2) Hänge-/Treibsystem, (3) und (4) Bojenleine, (5) Auftriebskörper, (6) Boje, (7) Ankerleine, (8) Ankersystem, (9) Leine zur Ankerboje, (10) Ankerboje. Modifiziert nach DANILOUX ET AL. (1997)

Eine abgewandelte Hängekultur ist die Langleine mit Laternennetzen. Bei dieser Methode hängen an der Leine in regelmäßigen Abständen Körbe, in denen z. B. Kammuscheln gezüchtet werden. Für die Zucht von Kammuscheln (*Placopecten magellanicus*) durch die *New Bedford Scallop Industry* werden die sogenannten „Super-Lanterns“ verwendet (Abb. 14).

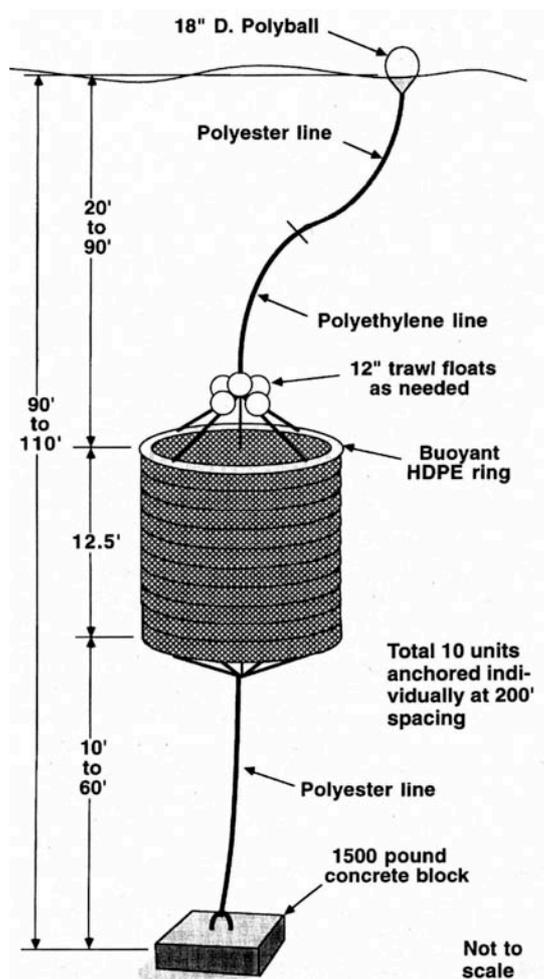


Abb. 14 Super-Lanterns der Firma *New Bedford Scallop Industry* für die Zucht von Kammuscheln. Modifiziert nach GOUDEY & SMOLOWITZ (1996)

Muscheln können auch als Bodenkulturen (bottom culture) gezüchtet werden. Dabei findet die Abwachsphase der Muschel auf dem Meeresboden statt. Diese Form der Kultivierung hat den Nachteil, daß die Muscheln langsam wachsen und oft sehr sandig sind. Das reduziert die Wirtschaftlichkeit dieser Zuchtorganismen. Bodenkulturen sind eher selten, werden aber noch in Westeuropa, wie z. B. in den Niederlanden, Deutschland und Dänemark, betrieben.

3.5 Verankerungssysteme

Verankerungssysteme müssen den vorherrschenden Bedingungen angepaßt sein. Insbesondere die Sedimentbeschaffenheit, die Wassertiefe, die Masse des zu haltenden Käfigs und die zu erwartenden

physikalischen Faktoren müssen in die Planung mit einbezogen werden (McELWEE, 1998a). Unterschiedlichste Ankersysteme sind auf dem Markt. Die häufigsten Systeme sind schwere Betonblöcke, in welche eine Verankerungskette eingelassen ist. Daneben gibt es Anker aus Stahl, wie z. B. Dankforth-Anker, Pflugschar-Anker, Drillanker, extra für besondere Zwecke patentierte Anker, etc. (McELWEE, 1998a). Andere Möglichkeiten bieten ausgediente Eisenbahnwagenräder der Deutschen Bundesbahn.

Auftriebskörper und Bojen können mit Luft, PVC, Bacell oder EPS (expanded polyurethane) gefüllt sein. Dabei sind unter starker und lang andauernder Belastung Bojen mit einer Kombination von PVC und Bacell am stabilsten und kostengünstigsten (WILLINSKY & HUGUENIN, 1996). Die Leinen sind oft aus Polyestermaterial, welches mit Polymeren ummantelt ist. Dadurch sind sie extrem reißfest und gegen Meerwasser, UV-Strahlung oder Netzfouling beständig.

Bei der Wahl, wie ein Verankerungssystem konstruiert werden soll, sollte darauf geachtet werden, daß das System möglichst einfach aufgebaut wird und aus wenigen Teilen besteht (BALDWIN *et al.*, 2000). Im wesentlichen sollen sie den Kräften, die auf hoher See wirken, standhalten und die Anlage so an ihrem Standort sichern. Darüber hinaus sollen sie je nach Käfig ein gewisses Volumen des Netzes aufbauen, seine Gestalt bewahren und auf Spannung halten.

Die Ankersysteme werden ausgebracht und tief im Boden befestigt oder je nach Ankertyp in den Boden gezogen. Dieser Vorgang muß zuvor gut vorbereitet werden, denn ist ein Anker erst einmal versenkt, läßt sich die Position nur schwer verändern (WICHERS, 1982; CHAPLIN *et al.*, 1992; WEBSTER, 1995; SANNASIRAJ *et al.*, 1998).

Etwas futuristische Pläne haben CODRON und POWELL (BEN-YAMI, 1997), die über hydrodynamische Kräfte (super-cavitation drag reduction) den Anker mit Geschwindigkeiten von bis zu $1.000 \text{ m}\cdot\text{sec}^{-1}$ in den Meeresboden rammen wollen. Es kommt jedoch immer wieder vor, daß Anker aus dem Boden gerissen werden und so die Aquakultur-Käfige ungesichert mit der Strömung davon treiben. Anlagen der Klasse II würden bei Nachgeben der Spannung sofort kollabieren, was den Verlust des Besatzes zur Folge hätte.

Die Leinen und Ketten, die die Aquakultur-Anlage halten sollen, werden je nach Größe, Tauchtiefe des Käfigs, mechanischer Wellenkraft, sowie der vorherrschenden Strömung unterschiedlich vernetzt (BALDWIN *et al.*, 2000; FREDERIKSSON *et al.*, 2000; TSUKROV *et al.*, 2000). Tsukrov *et al.* (2000) hat verschiedene Ankersysteme und die Leinen an Computerprogrammen für die jeweiligen Ansprüche getestet. Bei hohem zu erwartenden Aufkommen von Räubern, wie Großfischen, Schildkröten oder Säugern, wird der Seildurchmesser und die Seilstärke erhöht (KRAUS *et al.*, 1997).

Das Verankerungssystemen von Offshore-Anlagen kann aus unterschiedlich vielen Anker bestehen. Die meisten Offshore-Käfige haben an allen Seiten eine Ankerleine, eine sogenannte Multipoint-Verankerung. Andere haben nur einen Anker, eine sogenannte Singlepoint-Verankerung (UNH, CELIKKOL, 1999), (siehe Abb. 3, Teil I, Kap. 3.3.1). Bei einer Singlepoint-Verankerung führt die Sicherung vom Meeresboden/Anker direkt zum Käfig, bei einer Multipoint-

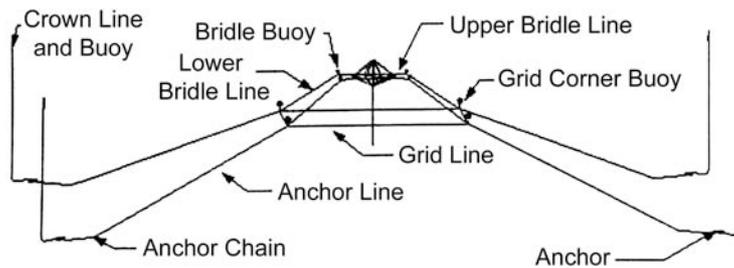


Abb. 15 Verankerungssystem einer Multipoint-Verankerung. Nach BALDWIN *et al.* (2000)

Verankerung zunächst zu einer Ringleine unter dem Käfig (Abb. 15). Im letzteren Falle führen dann von dieser Ringleine kürzere untere „Zügelleinen“ zu Auftriebskörpern an der Wasseroberfläche, an denen dann der Käfig mit der oberen „Zügelleine“ gesichert wird. Die Ringleine selber bildet ein planes Rechteck unter dem Käfig und wird zusätzlich mit Auftriebskörpern an den Knotenpunkten in einer bestimmten Wassertiefe unter dem Käfig unter Spannung gehalten

(Abb. 16). Dadurch reduziert sich die Kollision und Verwicklung mit marinen Säugern. Im Falle von Klasse III Anlagen muß der Umfang der Ringleine um den Netzkäfig so groß sein, daß bei Absenken der Anlage diese ungehindert durch

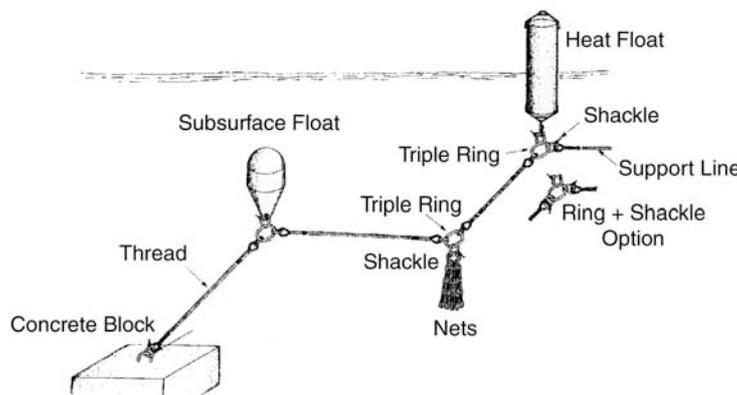


Abb. 16 Verankerungssystem an der Ecke einer Ringleine (*Buffer Mooring*). Nach BALDWIN *et al.* (2000)

reduziert sich die Kollision und Verwicklung mit marinen Säugern. Im Falle von Klasse III Anlagen muß der Umfang der Ringleine um den Netzkäfig so groß sein, daß bei Absenken der Anlage diese ungehindert durch

das System in tiefere Wasserschichten gelangen kann.

Käfige, die nur eine Verankerung unterhalb des Netzbodens haben, wurden im Golf of Maine von der *UNH* erprobt (FREDERIKSSON *et al.*, 2000). Es handelt sich dabei hauptsächlich um Klasse I Anlagen, die leicht aufzustellen sind und weniger Platz brauchen (siehe Teil I, Abb. 3, Kap. 3.3.1) (SAVAGE, 1998). Allerdings sind sie anfälliger und liegen meist in geschützten Buchten.

3.6 Strömungsbrecher

In Japan werden bei stärkerer Strömung und höherem Seegang Wellenbrecher konstruiert, die die Käfige vor mechanischen Kräften schützen sollen (TAKAGI, 1998). Dabei verschlechtern sich der Sauerstoff- und Nährstoffgehalt in der Wassersäule nicht und die Netzvolumina werden gegenüber Schwerkraftkäfigen weniger beeinträchtigt. Mit Hilfe dieser Wellenbrecher kann in Japan in Bereiche vorgestoßen werden, die zuvor aufgrund der physikalischen Bedingungen als ungeeignet für die Aquakultur angesehen wurden. Die Wellenbrecher sind so konstruiert, daß sie durch Auftriebskörper an der Wasseroberfläche schwimmen, am Boden durch Ketten verankert sind und zusätzlich frontale Luftkanäle aufweisen. Drei dieser Wellenbrecher (L: 57 m, B: 11 m, H: 8,3 m) liegen fest installiert auf einer Gesamtlänge von ca. 200 m vor der eigentlich Kulturanlage (z. B. Aba Bay in Japan), oder sie sind an der strömungsabgewandten Seite mit den Käfigen direkt verbunden.

3.7 Futterautomaten, Silos und Kanonen

Die Fütterung der kultivierten Organismen stellt in der Betreuung einer Aquakultur-Farm eine der wichtigsten, aber auch arbeitsintensivsten Aufgaben dar. Es werden je nach Art der Betreuung (intensiv/extensiv) Fütterungsanlagen installiert. Diese funktionieren automatisch und können von Land aus kontrolliert werden (*Black Box*). Früher wurde an jeder Ecke des Käfigs ein Futterautomat

mit eigenem Silo installiert, der unabhängig von anderen Automaten arbeitete. Heutzutage werden jedoch Futterautomaten verwendet, die zentral angebracht werden und einen bewegliche Auswurfschlauch haben (DAHLE, 1995). Das System *Profeed 3500* von *Farmocean* kann so programmiert werden, daß es 1-100 mal am Tag den Besatz füttert (FARMOCEAN, 1996). Je nach Silogröße (meist 3-4 Tonnen) und verbrauchte Futtermenge muß der Futterbehälter wieder gefüllt werden (Abb. 17a).

Für die Füllung des Silos wurde von der gleichen Firma der *Profeed 6000* entwickelt, der sich aber auch dazu eignet, direkt vom Schiff aus das Futter in die Anlagen zu pumpen (Abb. 17b). Apparaturen der Firma *Akva* aus Norwegen können die Fütterung den abiotischen Faktoren anpassen. So kann die Fütterungshäufigkeit und -menge je nach Art des kultivierten Organismus, der Besatzdichte, Biomasse, Temperatur und O₂-Gehalt modifiziert werden (AKVA, 2001). Nachteilig ist diese Art der Fütterung allerdings bei Käfigen, die sich unter der Wasseroberfläche befinden (DAHLE, 1995; LOVERICH & FORSTER, 2000). Zwar füttern einige Betreiber mit Hilfe von ferngesteuerten Unterwasser-Futterautomaten, doch unterliegen solche Anlagen aufwendigen Monitorsystemen oder Kameras (Sensoren,

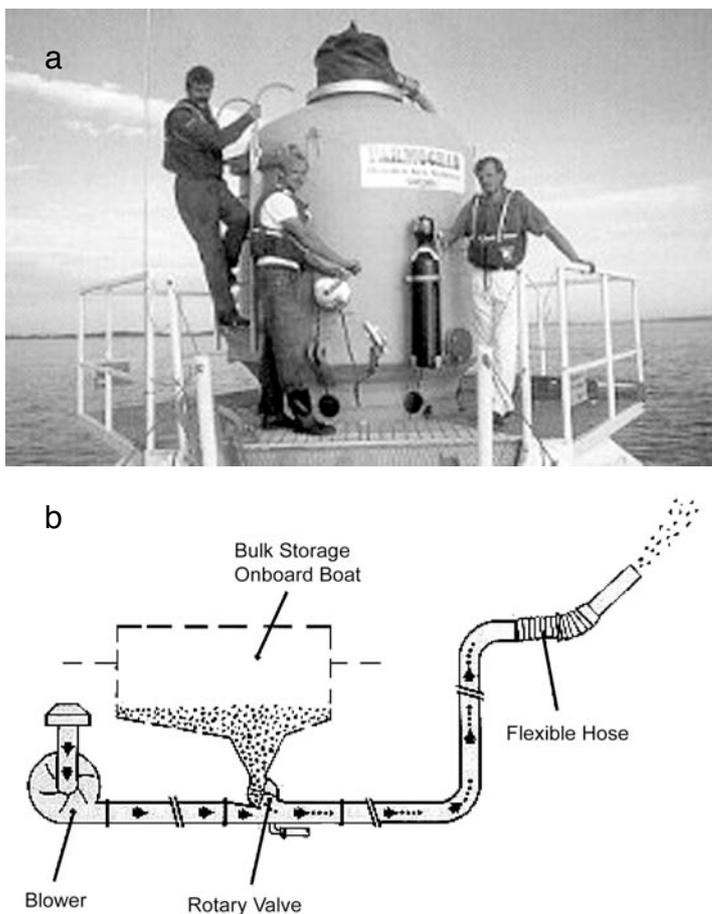


Abb. 17 a-b Technische Geräte für die Fütterung bei OOA-Farmen von der Firma *Farmocean*. (a) Der Futterautomat *Profeed 3500* und (b) der *Profeed 6000* für die Füllung der Silos. FARMOCEAN (1996)

ungshäufigkeit und -menge je nach Art des kultivierten Organismus, der Besatzdichte, Biomasse, Temperatur und O₂-Gehalt modifiziert werden (AKVA, 2001). Nachteilig ist diese Art der Fütterung allerdings bei Käfigen, die sich unter der Wasseroberfläche befinden (DAHLE, 1995; LOVERICH & FORSTER, 2000). Zwar füttern einige Betreiber mit Hilfe von ferngesteuerten Unterwasser-Futterautomaten, doch unterliegen solche Anlagen aufwendigen Monitorsystemen oder Kameras (Sensoren,

Dopplertechnologie) (LOVERICH & FORSTER, 2000). MATVEEV & BUGROV (1996) beschreiben den Unterwasser betriebenen Futterautomaten der Firma SADCO. Dieser pumpt über Druckleitungen die Pellets in das Käfiginnere (BEN-YAMI, 1997). Weiterhin gibt es Bemühungen, Fischpellets zu entwickeln, die im Wasser nicht nach unten sinken, sondern nach oben treiben. So könnte ein Futterautomat, der sich unterhalb der Wasseroberfläche am Boden des Käfigs befindet, über eine Zuleitung Futter ausströmen lassen, welches durch den gesamten Innenraum nach oben treibt und so den Fischen leicht zugänglich ist (DAHLE, 1995). Allerdings ist diese Technik wenig ausgereift und bedarf noch weiterer Forschung.

Bei vielen Aquakulturanlagen besteht die Möglichkeit einer automatischen Fütterung nicht. In diesem Falle werden spezielle Silo-Plattformen (*cone barges*) oder Futter-Boote verwendet (LOVERICH & FORSTER, 2000), die große Mengen an Nahrung aufbewahren können. Diese werden zentral an dem Ort verankert, der von allen Kulturanlagen am einfachsten erreichbar ist (Abb. 18). OST plant

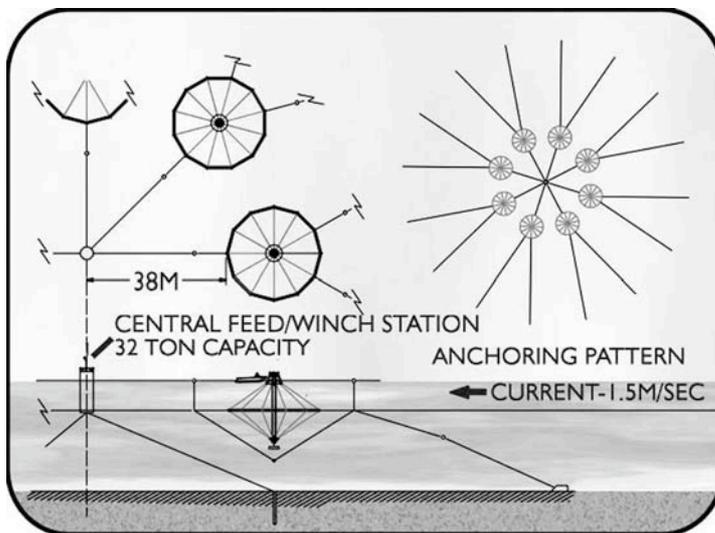


Abb. 18 Zentrale Futterstation umringt von mehreren Klasse 3 Käfigen. OST (2001)

den Bau von kreisförmig angeordneten Käfigsystemen, die eine zentrale Futterstation für die gesamte Anlage haben und für alle Käfige leicht zugänglich ist.

Wird die Fütterung von Hand durchgeführt, erleichtert eine Futterkanone die Verabreichung der Pellets (Abb. 19). Die Kanone ist über ein Schlauch mit einem an Bord befindlichen Silo

verbunden und „schießt“, von Hand gehalten, die Nahrung auf die Wasseroberfläche innerhalb der Käfige. Dabei können Pellets allein oder in Kombination mit



Abb. 19 Futterkanone (*Blitz Feeder*) der Firma *NORFAB*, die unter der Verwendung von Wasser das Futter in die Käfige befördert. *NORFAB* (1999)

Luft oder Wasser transportiert werden. Es können zwischen 25-150 kg Futterpellets pro Minute verabreicht werden, wobei die Dosierung je nach Besatzdichte eingestellt wird. Die Nutzung von Futterkanonen erleichtert die Kontrolle über die tatsächlich verabreichte Futtermenge (VLAMINCK, 2001).

3.8 Andere technische Geräte

Im Falle schlechter O_2 -Versorgung durch Ab-/Umbau organischen Materials aus Futterresten oder Faeces sowie bei hohem O_2 -Verbrauch aufgrund großer Besatzdichten kann das Wasser künstlich mit Sauerstoff angereichert werden. Es gibt dafür Injektoren oder Belüfterbräusen, die über Druckluftleitungen Sauerstoff in bestimmten Wassertiefen ausgeben oder zuvor Wasser mittels Pumpen ansaugen und dieses künstlich mit O_2 versetzen.

Sortiermaschinen ordnen die Fische während der Entnahme nach Größen und werfen sie getrennt aus. So können gesondert besonders große Fische, die schon die Marktreife erreicht haben, aus einem Gehege entnommen werden, ohne gezielt einzelne Fische mit kleinem Fanggerät zu fangen und dabei andere Fische in Streß zu versetzen (z. B. *Aqua Tech, Fischtechnik*).

Der Hersteller *AquaScan* hat eine Methode entwickelt, bei der Gewicht, Größe und Anzahl aller kultivierten Organismen in einem Gehege festgestellt werden

kann. Hierbei werden die Fische durch ein Rohrsystem transportiert an deren Ende sie eine Meßeinheit passieren. Diese Meßeinheit besteht aus einem Scanner und einer Kamera. Nach dem Durchgang gelangen die Fische wieder in den Netzkäfig. Neuere Systeme können gegenüber konventionellen Meßgeräten, bei denen ein Mindestabstand zwischen den Fischen nötig ist, auch dann noch Daten ermitteln, wenn mehrere Fische gleichzeitig den Scanner passieren.

4.0 Pflege der Systeme und Vermeidung von Krankheiten

4.1 Pflege

Ein wichtiger Arbeitsaufwand ist die Pflege und Reinigung der Anlage. Nach WILLINSKY & HUEGUENIN (1996) nimmt dieser Arbeitsbereich bis zu 38 % des gesamten Arbeitsaufwandes ein.

4.1.1 Biofouling

Die Pflege und Wartung der Anlage muß in regelmäßigen Abständen durchgeführt werden, um den Aufwuchs, „Netfouling“ oder Biofouling, auf den einzelnen Querverstrebungen und der daran aufgehängten Netze des Käfigs so gering wie möglich zu halten. Mit Biofouling geht üblicherweise auch das Aufkommen von Krankheitserregern oder pathogenen Stoffen einher. Außerdem kann das Gewicht einer Anlage hierdurch bis zu 100 mal schwerer werden (MILNE, 1970), was eine zu hohe strukturelle Belastung für die Anlage bedeuten würde. Als Gegenmaßnahme können die bewachsenen Netze entfernt und durch neue ersetzt werden. An Land werden die Netze dann gesäubert bzw. bei Bedarf repariert. Das setzt allerdings voraus, daß die Anlage die technische Möglichkeit eines Netzaustausches mit bestehendem Besatz vorsieht. Aus Streßgründen unter den kultivierten Organismen sollte, wenn möglich, jedoch während der Abwachsphase auf einen Netztausch verzichtet werden. Wenn eine Pflege des Netzes nur vor Ort durchgeführt werden kann, dann muß das Netz in regelmäßigen Abständen mit einer Netzwaschmaschine (*Net Washer*) von dem Aufwuchs befreit werden. Dazu hat die Firma IDEMA eine Netzwaschmaschine entwickelt, den IDEMA HEAD (CROKER, 1996), der Unterwasser von Taucher eingesetzt werden kann. Viele Betreiber setzen „Safe Antifouling Agents“ ein, die gegenüber älteren Antifoulingagenzien wie *Tribotylzinn* umweltfreundlicher sind. Stoffe wie *Irgarol* oder *Seanine* befinden sich gerade in der Testphase.

Eine weitere Möglichkeit, das Biofouling zu mindern, ist das Absenken der gesamten Anlage unter die Wasseroberfläche. Durch die Abnahme der Lichtintensitäten wird das Wachstum der Algen reduziert. In *Puget Sound* wurden an einer *Sea Station* von *OST* Seesterne eingesetzt, die das Biofouling abweideten (Seeigel ↔ Muschel) (LOVERICH & FORSTER, 2000). Jedoch muß dann ein „Mindestfouling“ zur Ernährung der Seesterne vorhanden sein.

4.1.2 Abfallstoffe

Bei Standorten ohne guten Strömungsverhältnissen muß in regelmäßigen Abständen dafür gesorgt werden, daß die Abfall- oder Ausscheidungsprodukte abgesammelt und entsorgt werden. Allerdings entstehen so mehr Kosten für die Bereitstellung besonderer Käfige mit Abfallauffangeinrichtung bzw. dem Abtransport und die Beseitigung. Technisch gesehen funktionieren solche Kollektoren auch nur in Gewässern mit geringer Wasserbewegung. GARY GARDNER (LOVERICH, 1998b) rät zu einem intensiven Anbau von Pflanzen zur Umsetzung solcher anfallenden Abfallprodukte (klassische Polykultur Fisch ↔ Makroalge). Da der von den kultivierten Organismen abfallende Faeces und seine Verteilung bei unterschiedlichen Strömungen mit Modellen, wie AWATS (DUDLEY *et al.*, 1998), bestimmt werden kann, können auch primär Aussagen über eine mögliche Polykultur von tierischem und pflanzlichen Organismen getroffen werden.

Forschungsbedarf besteht noch bei der Entwicklung von Techniken, die tote Organismen aus der Anlage entfernen. Dabei können automatisierte Methoden eingesetzt werden, wie z.B. ein *Airlift* (CROKER, 1996). Diese ersparen aufwendige Arbeiten und den Einsatz von Tauchern. Die Firma *AKVA Ltd.* hat eine Methode entwickelt, verendete Fische zu entsorgen. Der *LIFT-UP Collector* ist ein trichterförmiger Behälter, der unten im Käfig befestigt wird und den Käfigboden ersetzt. Futterpellets, Faecespartikel und sogar kranke oder verendete Fische können in den Trichter fallen und werden unter Verwendung einer Pumpe an die Oberfläche befördert. Hier wird dann nach Fisch und Abfallprodukten

sortiert und in die jeweiligen Auffangbehälter überführt. Die Entnahme von erkrankten Fischen ist in diesem Zusammenhang sehr wichtig, denn der Rest des Besatzes kann nicht mehr infiziert werden. Durch das Sammeln von Fischen mit Dysfunktionen können anschließend veterinärmedizinische Untersuchungen durchgeführt werden. Diese Abfallpumpen funktionieren in der Regel automatisch, so daß der Einsatz von Menschenhand minimiert wird. Ohne den Einsatz solcher Pumpen müßten in regelmäßigen Abständen Taucher für die Entnahme toter Fische eingesetzt werden, was den Ausbruch und die Ausbreitung von Krankheiten von Gehege zu Gehege durch Kontamination schneller möglich macht.

Eine weitere Möglichkeit, Fischabfälle zu entnehmen, ist die Installation eines driftenden Schwenktrichters (Abb. 20a/b). Dieser wird von oben aus zentral in Bodennähe aufgehängt und wird von der vorherrschenden Strömung in einen Winkel gebracht, der das Auffangen von Faecespartikeln erleichtert. Die aufgefangenen Abfallprodukte werden dann abgepumpt.

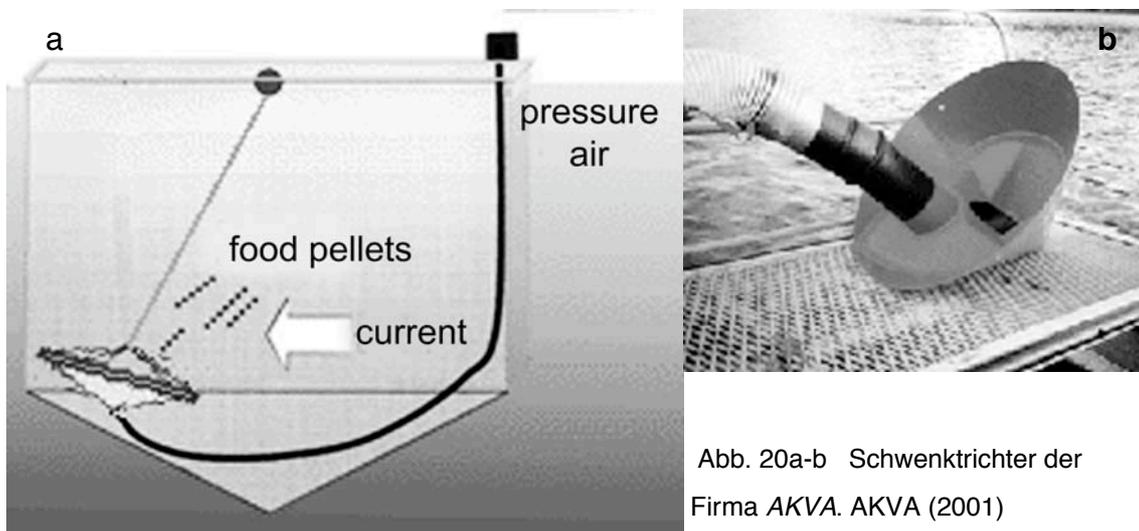


Abb. 20a-b Schwenktrichter der Firma AKVA. AKVA (2001)

Ein anderes System ist die Verwendung eines Trichters, der in einem Schaft am Boden des Netzes befestigt ist (*DAFS Marine Laboratory*). In regelmäßigen Abständen kann dieser Trichter über einen Flaschenzug gehoben und entleert werden. Danach wird er wieder über einen Seilzug in den Schaft zurückbefördert (CHRISTENSEN, pers. Komm.).

Eine kostspielige aber durchaus effektive Möglichkeit, toten oder sterbenden Fisch zu entfernen ist der Einsatz von ferngesteuerten (unbemannten) Tauchgeräten (ROV).

4.2 Krankheiten

Krankheiten können aus verschiedensten Gründen auftreten. Die einfachste, aber naheliegendste Ursache für geschwächten oder kranken Fisch ist Streß. Andere Gründe könnten schlechtes Futter, eingeschleppte Krankheitserreger oder schlechte Umweltbedingungen sein.

4.2.1 Streß

Jegliche Arbeit an den Gehegen kann Streß auslösen. Daher muß Streß so weit wie möglich vermieden werden, um irreversible Folgen zu vermeiden (CROKER, 1996). Streß entsteht grundsätzlich bei jeder Störung oder Veränderung der Lebensbedingungen. Er kann entstehen durch (1) zu hoher Besatzdichte, (2) Räuber, (3) Bewegung der Kulturanlage durch Wellenbewegung oder durch das Anlegen und Ent-/Beladen von Versorgungsschiffen, (4) zu hohe Strömungen, (5) schädliche oder giftige Planktonblüten, (6) Deformierung der Anlage durch Wellen oder durch Kollisionen mit Schiffen, (7) niedrige O₂-Konzentration, (8) Pflege und anderen Arbeiten an der Anlage. Je weniger solche Störungen während der Aufzucht auftreten, um so effizienter wird die Aufzucht- und Abwachsphase. Letztendlich ist ungestreßter Fisch auf dem Markt konkurrenzfähiger (Qualität, Größe, Geschmack, weniger Krankheiten).

4.2.2 Krankheitsursachen

Auch Fische können seekrank werden (TSUKROV *et al.*, 2000). Wenn der Käfig mit den Wellen auf und ab wandert, durchlaufen die kultivierten Organismen

ähnliche Höhenprofile, wie das Netzgehege. Dabei gelangen sie abwechselnd in Bereiche unterschiedlichen Drucks, die auf die Schwimmblase wirken. Das betrifft auch das Heben und Senken tauchfähiger Käfige. Diese Vorgänge müssen sehr langsam ausgeführt werden, damit sich die Fische an den veränderten Druck gewöhnen können. Bei unbewegten Käfigen, in denen die Fische jedoch vertikale Pendelbewegungen mit dem Wellengang ausführen, besteht die Möglichkeit, daß sich die Fische an der Netzwand oder dem Netzboden verletzen. Durch den geringen Nachschub von Brut und Fingerlingen wird dieser Bedarf oft von Händlern aus dem Ausland gedeckt (NAKAJIMA, 1998). Dieses hat den Nachteil, daß aktuelle Krankheiten des Erzeugerlandes mit eingeschleppt werden könnten. Diese können irreparable Folgen nach sich ziehen, da in den Importländern solche Krankheiten meist unbekannt sind oder die geeigneten Behandlungsmaßnahmen nur mangelhaft durchgeführt werden können. Von allen Fischkrankheiten sind Viruskrankheiten am häufigsten.

Die Küstengewässer im Golf von Mexiko wurden im in den 80er-90er Jahren von dem Bakterium *Vibrio vulnificus* heimgesucht. Es benutzte allerdings die kultivierten Organismen nur als Zwischenwirt. Gerade körperlich geschwächte Personen (Diabetes, Leberzirrhose, HIV) waren gefährdet. In den Jahren 1988-95 infizierten sich über 300 Personen mit *Vibrio*, wovon 50 % daran starben. Die Standortwahl ist daher für die Aquakultur äußerst wichtig, da die Betreibung in sauberen Gewässern das Infektionsrisiko verringert (ERICSSON, 1998).

4.2.3 Behandlung

Haben sich einige Fische infiziert, dann sterben sie normalerweise nicht sofort, da ihr Immunsystem je nach Krankheit die folgenden Tage noch überstehen kann. Die ersten Anzeichen einer Infektion sind meistens der Verlust des Auftriebs bzw. der Orientierung. Dabei sinken sie oft zu Boden. Erst wenn der Tod eintritt werden in der Regel die Krankheitserreger frei und können andere Organismen infizieren. Toter Fisch muß daher sofort entfernt werden.

Um frühzeitig Veränderung des Besatzes zu erkennen muß das Verhalten, die Aktivität, Reaktion bzw. lethargisches Benehmen kontrolliert werden. Darüber hinaus soll das Freßverhalten beobachtet werden, denn eine reduzierte Futteraufnahme oder sogar Verweigerung von Futter kann gesundheitliche Ursachen haben. Weiterhin muß die Morphologie der Organismen einer ständigen Kontrolle unterliegen, dazu gehören die Farbgebung, Läsionen und Pilze (BUCKLIN & HOWELL, 1998). Eine Schätzformel nach McELWEE (1998b) besagt, daß alle toten Fische an der Oberfläche multipliziert mit 3 die Anzahl der toten Fische im unteren Käfigbereich ausmachen.

Die Fische sollten prophylaktisch regelmäßig auf Krankheitserreger untersucht werden. Liegt eine Krankheit vor, muß natürlich eine Behandlung erfolgen. Dazu gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten: Entweder werden Medikamente, z. B. Antibiotika, dem Futter beigemischt, oder man gibt Medikamente direkt in die Gehege, so daß sie über das die Fische umgebene Wasser aufgenommen werden können. Bei der ersten Methode ist vorher sicherzustellen, ob sich die Medizin mit dem verabreichten Futter verträgt und auch von allen Fischen aufgenommen werden kann (McELWEE, 1998b). Auf die andere Art der Medikamentengabe wird in der Regel verzichtet, da sie sehr aufwendig ist und stark umweltbelastend sein kann. Außerdem ist nicht gewährleistet, ob die Medizin auch alle Fische im Käfig erreicht (McELWEE, 1998b).

Allgemein ist es allerdings erstrebenswert, auf Medikamente zum Schutz der Umwelt zu verzichten, da durch die hohen Verlusten von Zuchtmaterial, wie Futter und die darin enthaltenen Medikamente, synthetische Stoffe in die freie Wildbahn gelangen können. Medikamente können von Organismen außerhalb des Geheges aufgenommen werden und so in die Wildbestände vordringen. Dieses geschieht einerseits durch das Futter, das ungefressen das Käfiginnere passiert und zu Boden sinkt oder durch Antibiotika im Faeces, das aufgrund zu starker Konzentration im Futter nicht absorbiert werden konnte. Weiterhin muß immer beachtet werden, daß viele Medikamente, die Fische aufnehmen, in der Nahrungskette weitergegeben werden, also letztendlich auch den Menschen erreichen.

5.0 Sicherheit

5.1 Sicherheit für marine Säuger

Der Walgesang, der den marinen Säugern zur Kommunikation und zur Echolocation dient, kann nach BALDWIN und KRAUS (POLK, 1999) erheblich durch moderne Aquakulturanlagen gestört werden. Aufgrund der Größe der derzeitigen Netzkäfige und der Verwendung von neuen Materialien, die akustische Signale nicht reflektieren, also „transparent“ sind, verirren sich immer wieder Meeressäuger und verenden in den Kulturanlagen (BALDWIN & KRAUS, 1998).

Nachdem in Neufundland in den Jahren 1979-1990 30% aller marinen Säuger, die sich in den Netzen verfangen, starben (LIEN, 1994), wurden verschiedene Modelle von Frühwarnsystemen entwickelt. Dabei bewährte sich ein Alarmsystem, das in regelmäßigen Abständen akustische Signale von 4 kHz absetzt und so die Säuger von den Netzen fernhält. Im Atlantik traten ähnliche Probleme mit Schweinswalen auf, die sich nicht nur in Treibnetzen der Fischer sondern auch in den Netzen von Aquakulturfarmen verfangen. Hier wurden Signale mit einer Lautstärke von 135 dB und einer Frequenz von 10-100 kHz ausgesendet (KRAUS *et al.* 1997). Dieses bewirkte, daß die Wale die Anlage rechtzeitig als Hindernis erkannten.

Andere Probleme bestehen bei den Lachsfarmen, wo Seehunde versuchen, die Kulturlachse zu erbeuten. Hier dienen die lauten akustischen Signale eher dazu, die Seehunde zu erschrecken und sie so von der Erbeutung der Lachse abzuhalten. Allerdings sind diese Geräte laut und haben eine enorme räumliche Ausbreitung bzw. Reichweite, wodurch Schweinswale wiederum fehlgeleitet oder in ihrem Wanderverhalten gestört werden könnten (OLESIUK *et al.*, 2001).

Die Detektion von akustischen Signalen hat im Tierreich ein breites Spektrum eingenommen. Es gibt keinen Frequenzbereich, der auf alle Säuger gleichermaßen Wirkung zeigt. Alle Tiere reagieren auf unterschiedlich akustische Warnungen. Es kann also nur eine Auswahl von bestimmten Signalfrequenzen ge-

troffen werden, die auf die Zielgruppe ausgerichtet ist, die diese spezifischen Signale empfangen soll.

Als weitere Sicherung werden Leinen zur Reduzierung von Säugerunfällen sehr straff gespannt (BONARDELLI, 1996). Dadurch soll eine Verwicklung in lose schwimmenden Leinen vermieden werden. Zusätzlich sind sie mit mechanischen Sollbruchstellen ausgerüstet, die durch schnelles Aufbrechen verfängenen Tieren das Loskommen ermöglichen. Solche Systeme wurden bereits vor der Küste von Massachusetts erfolgreich eingesetzt.

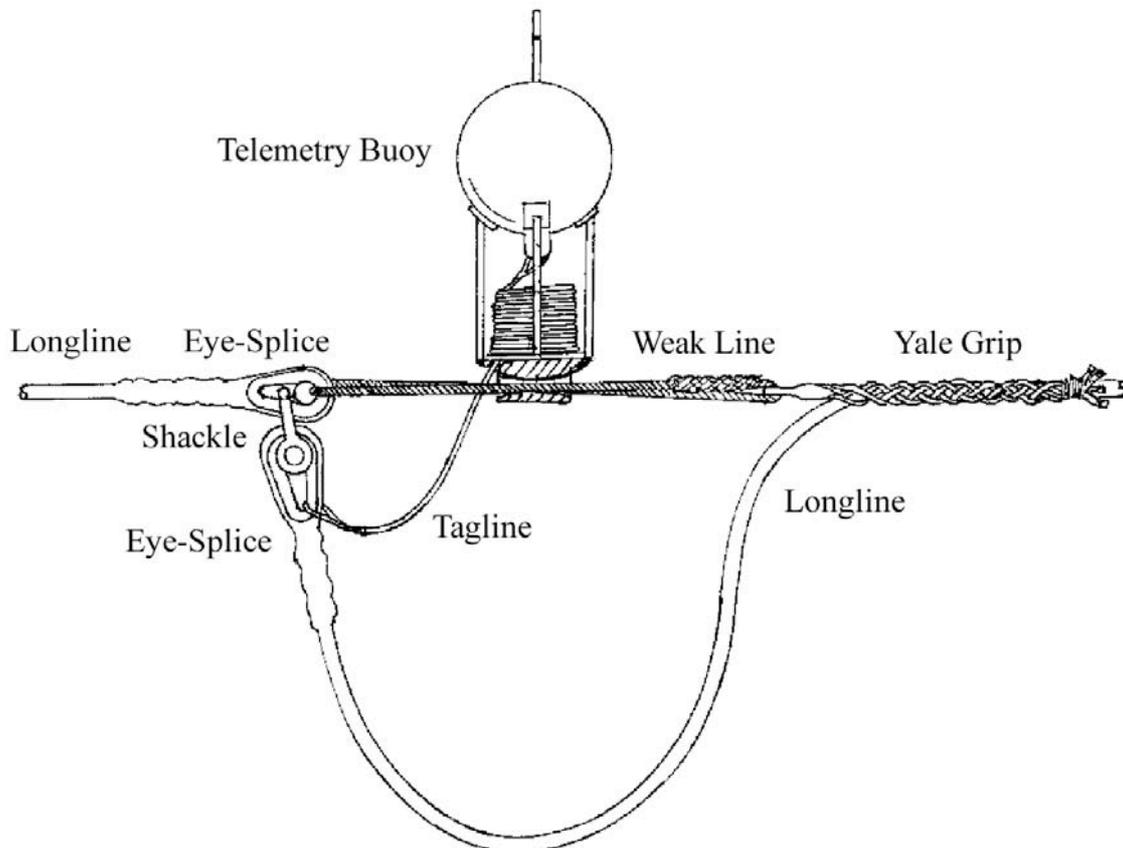


Abb. 21 Transmitterboje mit ausgestattetem Sender. Nach PAUL (1999)

Eine andere Möglichkeit bieten Transmitterbojen (Abb. 21), die mit einem Sender ausgestattet sind. Verfährt sich ein Tier in der Leine, reißt diese an der Sollbruchstelle ab und setzt dadurch automatisch eine Boje frei. Erreicht die Boje durch ihren Auftrieb die Wasseroberfläche, sendet sie ein Signal, daß von

einem Satelliten (hier *ORBCOMM*) empfangen und zu einer Bodenstation weitergeleitet wird. *ORBCOMM* ist ein System, das unter anderem Aquakultur-Betreibern den ferngesteuerten Zugang zu ihren Anlagen erlaubt, um ihr Monitoring-Programm oder einen Check-Up durchzuführen sowie die Anlage zu orten. Signale werden über ein Netzwerk von landgestützten Satellitenstationen (LEO) aufgefangen und weitergeleitet. Dieses Transmitterwarnsystem wird zur Zeit an Langleinen-Mytilikulturen vor Rhode Island getestet (PAUL, 1999), weitere Ergebnisse sind bisher nicht veröffentlicht worden.

5.2 Sicherheit für die Anlage

Ist der Zugang zur Aquakulturanlage wegen auftretender Schlechtwetterlagen oftmals nicht möglich, werden Monitorsysteme installiert, um so die Station kontrollieren zu können. Viele Betreiber setzen ROVs (remotely operated vehicles) ein, die einen optischen Eindruck von Bereichen unterhalb der Anlage geben. Der ROV *Manta 505* kann sogar leichte Tätigkeiten, wie das Einsammeln von verendeten Fischen, die Säuberung von Netzen und die Beprobung des Sediments ausüben (DAHLE, 1995). Jedoch sind die Anschaffungs- und Einsatzkosten solcher Geräte sehr hoch und werden deshalb meistens in sehr großen Betrieben verwendet.

Neben der visuellen Kontrolle bezüglich Deformationen der Netzwände, anderen Defekten oder Mortalität von Kulturorganismen, können spezielle Monitoringsysteme auch die Messung physikalischer und chemischer Parameter durchführen sowie eine Vitalitätskontrolle bzw. Anzahl und Größe des Besatzes überwachen.

Der Verlust der halb-tauchbaren Käfigsysteme vor Marokko und Irland ist unter anderem auf Materialermüdung der Verankerung zurückzuführen (WILLINSKY & HUGUENIN, 1996). Deshalb sind je nach abiotischen Bedingungen spezielle Verankerungssysteme zur Sicherung der Anlage entwickelt worden. Bei starken Stürmen können die Anlagen jedoch nicht mehr für die Sicherheit des Besatzes garantieren. In solchen Fällen ist es sinnvoller, den Schaden an der Anlage

selbst so gering wie möglich zu halten und die Kulturorganismen, die wahrscheinlich an Erschöpfung, zugezogenen Verletzungen oder Sauerstoffmangel während dieses Sturmereignisses sterben, aufzugeben (GOUDEY, 1999).

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Sicherheit der Anlage gegenüber dem Betreten Unbefugter. Das System und der Besatz stellen einen enormen Wert dar und können auf offener See leicht entwendet werden. Der unbefugte Zutritt zu den Anlagen ist nicht immer vermeidbar und muß daher durch den Einsatz von Kameras oder Radargeräten kontrollierbar sein. Ein englisches Unternehmen konstruierte das *Ferranti-Thomson Sonar System*, welches neben der Abwehr gegenüber Seehunden auch ein effektives Warnsignal gegenüber Schiffen gibt, die zu nah an der Anlage passieren oder direkt auf diese zufahren (DAHLE, 1995).

5.3 Flucht des Besatzes

Das Entkommen von Fischen aus den Anlagen ist unvermeidlich (WEBB *et al.*, 1991). Die meisten Fische entkommen, wenn sich die Anlage von der Verankerung löst, oder Netze ausgetauscht werden. Die Sicherung der Anlage mit entsprechenden Verankerungssystemen für Ansprüche in stürmischer See reduziert den Verlust (GAUSEN & MOEN, 1991; WINDSOR & HUTCHINSON, 1995). Die Firma OST stellt für ihre Klasse II Käfige ein Netz her, was oberhalb des Geheges gespannt wird. Es ist in einer Höhe angebracht, die den Fischen das Herausspringen aus dem Wasser ermöglicht, aber nicht das Entkommen aus dem Käfig.

6.0 Projekte und multifunktionale Nutzung

6.1 Projekte weltweit

Vor ca. 25 Jahren beschäftigten sich die ersten Wissenschaftler mit der marinen Aquakultur im Offshore-Bereich (MUIR, pers. Komm.). Die ersten Erfolge bei der Zucht von Salmoniden und eigens entwickelten Käfigen erzielten russische Wissenschaftler in Kulturen im Kaspischen Meer. Die größten Erfolge hatten jedoch Wissenschaftler in den USA, so daß im folgenden hauptsächlich über Projekte aus den USA berichtet wird. Bei der Zucht von Algen sind China und Japan aufgrund der enorm hohen Nachfrage seit Anfang des Jahrhunderts weit fortgeschritten.

Aufgrund des immensen Angebots der durchgeführten und laufenden Projekte, der Vielzahl von kultivierbaren Arten und unterschiedlichsten Techniken wird hier nur auf die bekanntesten Projekte bzw. herausragenden Ergebnisse verwiesen.

6.1.1 Projekte und Studien: OOA-Anlagen

Rußland

Die russische Firma *SADCO* baute Ende der 70er Jahre die ersten Offshore Käfige im Kaspischen bzw. Schwarzen Meer, welche der Zucht von Salmoniden dienten. Um diese Käfige zu testen, wurden verschiedenste Prototypen entworfen. Einige trieben an der Wasseroberfläche oder waren teilweise oder ganz untergetaucht, andere waren eher breit oder schlank gebaut (Abb. 22). Die Versuchsareale waren mit Unterwasserkameras, Akustik-Sensoren und anderem Monitoringequipment ausgestattet, die Käfige selbst mit Unterwasserfutterautomaten. Man wollte einen genauen Einblick in das Verhalten der Fische gewinnen, um den Fischen später eine möglichst angenehmen Lebensraum an-

zubieten (BUGROV, 1996). Weitere Ergebnisse sind bis heute nicht veröffentlicht worden.

Abb. 22 Das Testgelände der Firma SADCO in der *Serebryanoye-See* im Kaspischen Meer.
Nach BUGROV (1996).

USA

Die USA betreiben groß angelegte Forschung auf dem Gebiet der Open Ocean Aquakultur und sind heute eines der führenden Länder im Bereich der OOA.

An Pilotstudien mangelt es nicht, da alle an den Atlantik oder Pazifik grenzenden Bundesstaaten der USA Anlagen und Besatz testeten: unter anderem die *Hybrid Striped Bass Demonstration Facility* und die *Recirculating System Demonstration Facility* in North Carolina, das *Wadell Aquaculture Center* in South Carolina, das *Offshore Summer Flounder Aquaculture Demonstration Project* in New York und das *Red Drum Aquaculture Demonstration Project* in Texas,

South Carolina und Louisiana (BUCKLIN & HOWELL, 1998), um nur einige wenige zu nennen.

Ferner ist das *National Sea Grant College Program* zu nennen. Es beschäftigt sich in erster Linie mit der Nutzung mariner Ressourcen bzw. der damit verbundenen Forschung in Technologie und Biologie. Gleichzeitig werden Hilfeleistungen und Beratung von Projekten und Ausbildung angeboten. Das Programm wurde 1966 gegründet und steht in enger Zusammenarbeit mit den Universitäten und der National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). An vielen Universitäten in nahezu fast jedem US-Bundesstaat ist das Programm vertreten und spielt eine besondere Rolle in der marinen Aquakulturforschung. Es ist in Offshore-Projekten vieler Universitäten, wie z. B. der Universität in New Hampshire, Maine, Southern Mississippi, Rhode Island, Hawaii und anderen, vertreten.

Während die UNH überwiegend Forschungen in der Offshore-Technologie betreibt (siehe Teil I, Kap. 3.2), hat das *Hawaii's Sea Grant College Program* an der *University of Hawaii* mit dem *Oceanic Institute* (OI) und dem *Pacific Marine Aquaculture Center* (PMAC) im Jahre 1992 eines der ersten US-amerikanischen Offshore-Aquakulturprojekte gegründet, das *Hawaii's Offshore Aquaculture Research Project* (HOARP). Dieses beschäftigt sich in erster Linie mit der Zucht von Fischen in Open Ocean Aquaculture und testet bzw. konstruiert außerdem die dazu benötigten Käfige (Hawaii hat den höchsten Fischkonsum in den USA).

Die *University of Southern Mississippi* (USM) in Verbindung mit dem *Gulf of Mexico Offshore Aquaculture Consortium* (OAC, seit 1999) beschäftigte sich innerhalb des *Open Ocean Aquaculture Demonstration Project* unter anderem mit der Möglichkeit, bestehende Anlagen wie Gas- und Ölplattformen für die Aquakultur zu nutzen. Im Golf von Mexiko sind die Bedingungen dafür hervorragend, da viele der 4.000 Plattformen für den multifunktionalen Versuch zur Verfügung stehen (siehe Teil I, Kap. 6.2.1). Ein weiterer wichtiger Aspekt für die Aquakultur ist die Regulierung und Genehmigung von Offshore-Bereichen, so daß, zumindest für Forschungszwecke, die *Marine Aquaculture Zoning* (MAZ) Strategie in den USA entwickelt wurde.

1996 wurde die erste internationale Open Ocean Aquaculture Konferenz in Portland/Maine vom Sea Grant College Programm der UNH, der *University of Maine* und dem *Massachusetts Institute of Technology* organisiert. Seitdem fanden weitere Konferenzen in Maui/Hawaii und Corpus Christi/Texas statt. Im Juni diesen Jahres findet die vierte internationale Open Ocean Aquaculture Konferenz in St. Andrews /New Brunswick statt.

Seit 1984 besteht in Kalifornien das *California Department of Fish & Game* (CDF&G) als Unterprojekt der *Ocean Resources Enhancement and Hatchery Program* (OREHP). Es prüft die Durchführbarkeit der Aufzucht und dem Abwachsen von Speisefisch. Bisher wurden von dem OREHP verschiedene Kultur-Techniken, wie induziertes Ablachen, Aufzucht von Larven, Ernährung und Krankheitsvermeidung, untersucht (DRAWBRIDGE & KENT, 1998). Dazu wurde als Kulturfisch hauptsächlich Wolfsbarsch (*Atractoscion nobilis*) verwendet. 1991 wurden in Mission Bay/San Diego die ersten Käfigsysteme zum Abwachsen dieser Fische konstruiert. Dabei handelte es sich grundsätzlich um zwei verschiedene Käfigsysteme: Der erste war ein traditioneller Netzkäfig, der an der Wasseroberfläche schwimmt und am Boden verankert ist. Er hatte einen Auftriebskörper in Form eines Rahmens, der zum Schutz vor Freßfeinden sowohl oberhalb, als auch unterhalb der Wasseroberfläche einen kastenförmigen Aufsatz integriert hatte, der mit Netzen abgedeckt war. Das zweite System war ein halbuntergetauchter Käfig, an dem oberhalb der Wasseroberfläche eine ringartige Arbeitsfläche konstruiert war. Er war zu allen Seiten mit einer Fiberglaswand geschlossen, hatte jedoch zu zwei Seiten eine Öffnung, die mit Netzen versehen war, um eine Durchlaufrinne (raceway) zu bilden. Beide Käfige hatten einen Futterautomaten installiert. Beide Systeme haben sich im Test bewährt, jedoch hob sich keines der beiden gegenüber dem anderen hervor. Während bei dem Netzkäfig sauerstoffreiches Wasser von allen Seiten einströmte, konnte bei dem zweiten System ein Futtermonitoring durchgeführt werden, da nicht verzehrtes Futter auf der unteren Fiberglaswand liegen blieb. Als nachteilig erwies sich die große Menge unverzehrten Futters, die die Wasserqualität im Käfig aufgrund geringer Strömung verschlechterte. Der Aufwand bei der Käfigpflege war bezüglich der Futterreste größer, jedoch der Aufwuchs aufgrund des

Absenkens geringer. Nach dem großen Erfolg dieser beiden Systeme wurden dann weitere Fischarten in größeren Käfigen an verschiedenen Orten Kaliforniens gezüchtet und vermarktet (350.000 Fische/Jahr bei Besatzdichten von 26 kg·m⁻³).

Sea Pride Industries versuchte 1989 Technologien zur kommerziellen Kultivierung verschiedener endemischer Fischarten im Golf von Mexiko zu erproben (ERICSSON, 1998). Darüber hinaus sollte die Entwicklung von Offshore-Käfigen erprobt werden. Dazu wurde ein 5-Phasen-Plan zur Nutzung von Ölplattformen entworfen, das zunächst die abiotischen Bedingungen vor Ort untersuchte, unterschiedliche Käfige auf ihre Eignung bei den vorherrschenden Bedingungen testete, ein Monitoring-Programm startete und anschließend dann eine Reihe von Plattformen mit mehreren Käfigen und dem dazugehörigen Besatz ausstattete.

MICHAEL MARKETS von *Ocean Farming Inc.* plante in den 80er Jahren die Düngung von tropischen, sonst nährstoffarmen Gewässern, um die lokale Produktivität zu erhöhen. Es sollten eine Fläche von 53.000 Quadratmeilen gedüngt werden, die nicht nur für eine geplante Produktion von 5 Mill. Tonnen Fisch im Jahr sorgen sollte. Außerdem sollte auch das durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe erzeugte CO₂ mit der Aufnahme durch das dort verstärkt vorkommende Phytoplankton reduziert werden. Dieser Plan wurde nie durchgeführt, da man damals jegliche Zugabe von Stoffen in das Meer als Abfallentsorgung ansah (BEN-YAMI, 1997).

In Europa sind derzeit hauptsächlich Irland, England, Norwegen und einige südeuropäischen Mittelmeerstaaten an der Offshore-Marikulturforschung beteiligt. Das Institut für Meereskunde in Kiel war an der Konstruktion eines drehbaren Offshore-Käfigs für die Zucht von Salmoniden beteiligt. Dieser wurde später in einem deutsch-kanadischen Kooperationsprojekt in Kanada weiterentwickelt. Vor Helgoland versuchten Wissenschaftler der Biologischen Anstalt Helgoland, mit Ring- und Leitersystemen Algen zu züchten. Biologen des Forschungszentrums *Terramare* untersuchen in der Jade die Zucht von juvenilen *Mytilus* an

Langleinenkonstruktionen. Doch klaffen zwischen Europa, Asien und den USA große Forschungslücken.

6.1.2 Projekte und Studien mit Kandidaten: Fisch

Der *NMFS* nimmt in der Aquakultur-Forschung eine Schlüsselposition ein (MATLOCK, 1998). 1995 beauftragte der *NMFS* die *Hawaiian Fisheries Development* (HFD) mit der Zucht von Fischen aus sowohl küstennahen wie auch küstenfernen Habitaten (OSTROWSKI, 1998). Das betraf neben den Zuchttechniken von Fischbrut auch die danach folgenden Abwachsrichtungen.

Das *NMFS* und das *OI* bauten Ende 1995 eine Anlage zur Zucht von *Mahimahi* (Goldmakrele, *Coryphaena hippurus*) auf. Jedoch entstanden Probleme innerhalb des Besatzes, da die Fische Revierverhalten zeigten, was sich durch angriffslustige Verhaltensweisen und Kannibalismus widerspiegelte (KIM *et al.*, 1993; OSTROWSKI *et al.*, 1996). Diese Schwierigkeiten konnten durch reichliches und besseres Futter teilweise abgeschafft werden. Zusätzlich wurden die Kulturen in Bereiche stärkerer Strömung umgesetzt. Das hatte den Vorteil, daß durch die ständige Schwimmbewegung die Aggressivität gedrosselt wurde und schwächere Fische durch rapide Richtungswechsel mit der Strömung den stärkeren Fischen entkommen konnten. Hierdurch stieg die Überlebensrate von 50 % auf 95 %, was dazu führte, daß nun die Anlagen kommerziell genutzt werden können.

In Zusammenarbeit mit dem *OI* konnte nun auch der wirtschaftlich sehr gefragte *Pacific Threadfin* (Fingerring, *Polydactylus sexfilis*), bei dem es ähnliche Schwierigkeiten gab, in Offshore-Gebieten um Hawaii kommerziell gezüchtet werden (WONG, 1995).

Weiterhin wurden große Fortschritte in der Zucht mit dem *Bluefin* (Stöcker, *Caranx melampygus*) erzielt, der unter Kulturbedingung seine Wachstumsrate verdoppelte. Nach zehn Monaten war er mit 500 g Schlachtgewicht marktreif und erreichte gegenüber den Wildbeständen außerdem seine Geschlechtsreife viel früher.

Wegen seiner enormen Wachstumsraten und einer ähnlichen Robustheit gegenüber Seegang wie der *Bluefin* (CHAMBERS & OSTROWSKI, 1998) wurde der *Amberjack* (Stachelmakrelen/Grünel, *Seriola dumerili*) als guter Kandidat für die marine Aquakultur angesehen (GRECO *et al.*, 1993). Er weist außerdem einen hohen Marktwert (PORELLO *et al.*, 1993), eine gute Anpassung an geschlossene Systeme bzw. Gefangenschaft (MICALE *et al.*, 1993) und große Toleranz gegenüber den Kulturbedingungen auf.

Die Zucht von *Bluefin* und *Amberjack* hat große Potentiale gegenüber Wildfängen, da Fische aus Wildfängen häufig Würmer oder anderen Befall aufweisen. *Amberjack* wird auch intensiv in Regionen im Mittelmeer (GRAU *et al.*, 1996), in Japan (MASUMA *et al.*, 1990) und HongKong (WONG, 1995) gezüchtet. Obwohl die Wachstumsraten ähnlich gut sind, setzt sich *Amberjack* gegenüber dem *Mahimahi* durch, da *Mahimahi* seine Geschlechtsreife früher erreicht, welches sein weiteres Wachstum gebremst.

1995 wurden in Massachussetts, Rhode Island und New York 5 Mill. U.S. \$ für die marine Aquakultur von Sommer- und Winterflundern (*Paralichthys dentatus* bzw. *Pleuronectes americanus*) bereitgestellt (SPATZ *et al.*, 1996; OSTROWSKI, 1998). Es wurde außerdem geplant, Schellfisch, Kabeljau, Heilbutt und Aal in die Kulturprojekte mit einzubeziehen. Später beschäftigen sich die Aquakulturprojekte hauptsächlich um die kommerzielle Nutzbarkeit von Aquakulturfisch der Gattung *Lutjanus sp.* (Snapper, Schnapper), der schon in China, Hong Kong, Malaysia, Philippinen, Singapur und Taiwan gezüchtet wird. Dabei steht der Snapper-Art *L. campechanus* aus dem Golf von Mexiko im Vordergrund.

Die größten Lachsfarmen gibt es in Norwegen, Kanada, Irland, Peru und den USA (GIGNOUX & MESSIER, 1998). Dabei wurden Käfige der Firma *Bridgestone* und *Dunlop* erfolgreich für die kommerzielle Zucht von Lachsen vor der Küste Irlands eingesetzt. Eine Nearshore-Lachsfarm in Alaska hat eine jährliche Produktion von 2.500 t Lachs (Schlachtgewicht). Hierbei werden 650.000 Jungfische in die Offshore-Anlage transportiert, wovon 625.000 Fische nach einem 1/2 Jahr ihr Gewicht auf 3 kg erhöhten (75 % des zu erwartenden Gewichts) (FORSTER, 1995a; CROKER, 1996). Diese Anlage befindet sich ca. 8 km vor der Inshore-Anlage. Hier gibt es Strömungsgeschwindigkeiten von 1-2,5 kn und,

wenn auch selten, Wellenhöhen von bis zu 7 m. In St. George (New Brunswick) ist die Zucht sogar nur 3 km von der Inshore-Anlage entfernt, in der Straße von *Juan de Fuca* (Seattle) jedoch 25 km.

In Australien konnte sich die Offshore-Aquakultur bislang nicht durchsetzen. Die Ursachen liegen zum einen in dem fehlenden Know-how in der Technik, zum anderen in den hohen Produktionskosten. Weiterhin ist die Marktlage unklar, es müßten große Entfernungen zurückgelegt werden und die Finanzlage sah eher unsicher aus (LEE & TURK, 1998). Heutzutage gibt es einige wenige Projekte, wie z. B. die Zucht des Thunfisches, *Thunnus maccoyii*, in Port Lincoln/Südaustralien (THOMSON, 1996).

Die ersten europäische Offshore-Projekt wurden in der Türkei, Kroatien und Griechenland zur Zucht von Meeresfischen durchgeführt. Später finanzierte die EU große Projekte in Griechenland zur Zucht von Meerbrassen (*Sparus auratus*) und Wolfsbarsch (*Dicentrarchus labrax*) (LISAC, 1996).

Das *Regional Fisheries Directorate* in Madeira/Portugal gründete unter Mithilfe der EU ein Offshore-Projekt zur Zucht von Brassen. Dazu wurde ein 3.500 m³ Klasse III Käfig von *Farmocean* verwendet, der dann nach erfolgreicher Produktion an private Investoren abgetreten wurde. Begleitet wurde das Projekt von einer Studie, die die Verteilung des organischen Abfalls und seine Wirkung auf das Sediment untersuchen sollte (ANDRADE, 1996a; ANDRADE 1996b). Allerdings riß sich der Käfig in der starken See von der Verankerung los, was zur Einstellung des Projekts führte.

6.1.3 Projekte und Studien mit Kandidaten: Muscheln

Kommerziell genutzte Muschelkulturen finden sich weltweit. Das Artenspektrum reicht über Klaff-, Mies-, Riesen-, Perl-, Venus-, Herz-, Pilger- und Teppichmuscheln bis zu unterschiedlich Austernarten. Käfigkulturen mit Austern werden schon seit 300 Jahren in Japan betrieben (MERINO, 1998). In den 50er Jahren wurden dann in Japan anstatt von Käfigen Langleinen verwendet, so daß zum ersten Mal ein vertikales Substrat benutzt wurde. Diese Technik kann mehr In-

dividuen pro Raum unterbringen, wodurch der Gewinn enorm gesteigert wird. In Kanada und Neuseeland werden ähnliche Leinenkulturen zur Zucht von Muscheln verwendet (BUCKLIN & HOWELL, 1998). Die Leinen werden so verankert, daß die unteren 5 m oberhalb des Meeresbodens und die oberen 15 m unterhalb der Wasseroberfläche nicht genutzt werden. So wird der Prädation von Eiderenten und Seesternen entgegengewirkt.

Während man in den USA und in Europa versucht, die Miesmuschel in der Marikultur wirtschaftlich nutzbar zu machen, ist sie vielerorts in Japan zum Ärgernis geworden (KIKUCHI, 1998). Sie verstopfen die Zugangsleitungen von Kraftwerken und müssen daher kostspielig und mit großem Aufwand mehrmals im Jahr entfernt werden. Bisher wurden die Muscheln nach Einäscherung des organischen Materials vergraben, doch nun soll das Fleisch der *Mytilus* in frischem Zustand oder gefriergetrocknet für die Aquakultur nutzbar gemacht werden. KIKUCHI & SAKAGUCHI (1997) beschreiben die Stimulierung der Freßgewohnheiten von Flundern (*Paralichthys olivaceus*) mit Muschelfleisch, das aus den Kraftwerksableitungen stammt. Die Wachstumsraten der Fische nahmen zu und konnten so den Einsatz von Fischmehl ersetzen.

In Kalifornien werden Muscheln aus Aufwuchsbeständen, die beim Reinigen von Bohrplattformen abgekratzt werden, vermarktet (siehe Teil I, Kap. 6.2.1).

Neuseeland führt Projekte zur Langleinen-Zucht von Kammuscheln (*Pecten*), Miesmuscheln (*Perna*) und Austern durch (THOMSON, 1998).

6.1.4 Projekte und Studien mit Kandidaten: Crustaceen

Der Hummer *Homarus americanus*, der entlang der Ostküste der USA unter einem intensiven Fischereidruck steht, soll zur Sicherung des Hummerbestandes in die marine Aquakulturzucht aufgenommen werden (GOLDSTEIN, 1998). Versuche, Hummer zu kultivieren, gab es schon seit dem Jahre 1880 (ADDISON & BANNISTER, 1994). Ab 1885 wurden sie dann auch erfolgreich gezüchtet (RATHBUN, 1986).

In St. Andrews, New Brunswick/Kanada, gibt es seit 1974 die erste Hummerzucht. Jedoch wird die Hummerzucht mit großem Aufwand betrieben. Es sind unterschiedliche Aufzuchtssysteme, wie Kreisel tanks für Larven und Zuchtkästen (*condo trays*) für Juvenile, erforderlich. Hälterungsbecken müssen unterschiedliche Temperaturen haben, 8-10°C für trüchtige Weibchen und 18°C für das Aufwachsen der Larven und der juvenilen Hummer. Weibchen aus Wildfängen durchlaufen einen längeren Gesundheits-Check und verbleiben einige Wochen in Quarantäne, bevor sie in der Zucht verwendet werden.

6.1.5 Projekte und Studien mit Kandidaten: Algen

Die Zucht von Algen wird seit mehreren 100 Jahren traditionell in Asien betrieben. Riesige Algenfarmen mit einer Fläche von einigen Quadratkilometern sind dort nicht selten, jedoch findet man diese Farmen nur in geschützten Buchten. Im Open Ocean Bereich sind seitens Japans und Chinas keine Projekte unternommen worden.

Vor der Isle of Man (England) wurde 1980 ein Programm zur Zucht von *Saccorhiza polyschides*, *Laminaria saccharina* und *Alaria esculenta* durchgeführt. Nur die beiden letzteren besaßen die Fähigkeit, sich auf Leinen anzusiedeln, und konnten so erfolgreich gezüchtet werden (KAIN & DAWES, 1987).

LÜNING & BUCHHOLZ (1996) züchteten mit einem hierfür eigens konstruierten Offshore-Ring Makroalgen (*Laminaria saccharina*, *L. digitata*) und begaben sich zum ersten Mal von deutscher Seite aus in den Offshore-Bereich. Der Ring war einem starken Wellenklima ausgesetzt und hielt diesen Anforderungen nicht immer stand. Verschiedenste Konstruktionen, wie die Veränderung des Ringdurchmessers oder traubenartige Anordnungen mehrerer Ringe, wurden getestet und der Ring oft modifiziert, bis letztendlich ein 5 m großer Prototyp effektiv für die Kultivierung von Braunalgen eingesetzt werden konnte (Abb. 23).



Abb. 23 Offshore-Ring für die Massenzucht von Makroalgen. Modifiziert nach Lüning und Buchholz (1996) .Foto: C. Buchholz (AWI)

6.2 Nutzbarkeit von bereits vorhandenen Offshore-Anlagen

6.2.1 Plattformen und Aquakultur

Öl- und Gasplattformen sind als künstliche Riffe bekannt, da sie meist in unbelasteten Gewässern stehen und als eine Art „Haltestelle“ für vorbeiziehende Fische gelten (DOUGALL, 1998; OSBURN & CULBERTSON, 1998). In den USA nutzen viele Touristen diese Möglichkeiten zur Ausübung ihrer Freizeitbeschäftigungen wie Sportangeln oder ähnliches.

Diese „gesunde“ Umgebung bot sich als Standort für Aquakultur an, da sie eine geringere Temperaturschwankung und eine gewisse Nettoströmung verzeichnet, die Käfiganlagen sauber hält und immer ausreichend Sauerstoff vorhanden ist.

Plattformen können direkt und indirekt in die Betreuung einer OOA einbezogen werden (MITGET, 1994; CHAMBERS, 1998; WILSON & STANLES, 1998). Direkt dienen sie der Befestigung von Anlagen, indirekt zur Bewachung der Anlagen. Von den Plattformen lassen sich die Kulturanlagen gut beobachten, so daß bei Beschädigungen durch Unfälle oder mechanischer Wellenkraft sowie bei auftretenden Krankheiten, die Fischsterben hervorrufen könnten, unmittelbar gehandelt werden kann. Ein weiterer Effekt ist, daß allein durch die Präsenz von bemannten Plattformen Straftaten, wie Vandalismus oder Diebstahl, an freischwimmenden Anlagen eingeschränkt wird (Abb. 24).

Die Versorgungsschiffe, die die Plattformen von Land aus bedienen, können auch für die Bedürfnisse der Aquakulturbetreiber eingesetzt werden. Doch können diese Schiffe die Bedürfnisse, die die Betreuung der Aquakulturanlage erfordert, nur ergänzen. Eine eigene Schiffsverbindung muß vorhanden sein, da-

mit im Bedarfsfall eine gewisse Mobilität unabhängig von der Freqüentierung der Plattformversorgung garantiert ist. Die multifunktionale Nutzung spart jedoch Fahrtkosten ein.



Abb. 24 Klasse III Käfig der Firma OST in Kombination mit einer Offshore-Ölplattform im Golf von Mexiko. SEA GRANT (2000)

Die erste Synergie zwischen Ölplattformen und mariner Aquakultur haben Russische Wissenschaftler 1987 im Kaspischen Meer begonnen (BUGROV, 1996). Dieses Vorhaben wurde jedoch wegen zu hohen Fahrt- und Betriebskosten bald darauf wieder eingestellt.

Die vielseitige Nutzung der Plattformen hatte in den Gewässern der USA mehr Zukunft. Gut die Hälfte der im Golf von Mexiko stehenden Öl- und Gasplattformen sind nicht mehr in Benutzung oder arbeiten nicht wirtschaftlich. Sie sollen in den nächsten Jahren abtransportiert werden, welches ein kostspieliges Unterfangen bedeutet (1 Milliarde US \$ bis 2000, 7,7 Milliarden US \$ bis 2020). Es gibt OOA-Projekte, wie z.B. *Russel Miget*, *Sea Grant*, *University of Texas*, oder *Wilbur Johnson, MNE Inc.* (Minerals Management Service) in Louisiana mit dem MMS Supplement Bonding Program, die gezielt die Plattformen nutzen, die für die Energieförderung nicht mehr verwendet werden.

In seltenen Fällen werden aber auch die noch aktiven Plattformen sekundär für die OOA genutzt (CHAMBERS, 1998; KRUSE, 1998; JOHNSON & BREED, 1998). So können sie für die Zucht von Organismen dienen und gleichzeitig die Kosten für die Entsorgung eingespart werden (4-10 Mill. \$, CHAMBERS, 1998). In der Regel werden solche Plattformen nach 10-15 Jahren aufgegeben, obwohl sie eine Lebensdauer von über 50 Jahren haben. Käfige können direkt an den Stützen der Plattform befestigt und damit aufwendige Verankerungen eingespart werden (Breed, 1994). Es bieten sich ausreichend Platz für den kurzfristigen Aufenthalt und für Equipment. Fütterungsautomaten können auf den Plattformen installiert werden, die Arbeitsfläche und die Erreichbarkeit der Kulturanlagen ist ausreichend und im Notfall kann auch Personal beherbergt werden. Plattformen dieser Art sind sicher gebaut, sie können starken Stürmen widerstehen und bieten ausreichend Schutz für die Kulturorganismen.

Die erste Nutzung von ausgedienten Plattformen für die marine Aquakultur fand in den USA im Jahre 1990 statt. Die Plattform *MI 685B* befindet sich 35 Meilen vor der Küste Texas, an ihr hingen zwei Käfige mit einem Volumen von ca. 100 m³. Der Käfigboden und der Deckel bestanden aus Stahlkappen und wurden durch Netze verbunden. Diese Käfige wurden von Ingenieuren der Erdölindustrie entworfen, daher waren sie fast so schwer und ähnlich teuer wie eine Plattform selber. Der Erstbesatz bestand aus 8.000 Umberfischen (Red Drum, *Sciaenops ocellatus*), die als Juvenile von einer küstennahen Brutstation zur Verfügung gestellt wurden. Die Netze wurden danach an Drahtseilen herabgelassen,

wobei der eine Käfig 10 m, der andere 20 m unter der Wasseroberfläche positioniert wurde. Gewichte von unten stabilisierten die Käfige. Die Besatzung auf der Plattform dokumentierte das Fouling auf den Netzen und entfernte dieses gegebenenfalls. Der Zustand der Anlage wurde ständig kontrolliert und das Wachstum bzw. die Mortalitätsrate festgehalten. Die Fische wurden fünf mal täglich durch einen Futterautomaten gefüttert. Die Ausbeute aus dieser Anlage, auch wenn es nur ein Pilotprojekt war, konnte sich sehen lassen. 75 % der Fische überlebten die Zucht und erhöhten ihr Gewicht in einem Jahr um das 20-60 fache. Räumlich stießen die Anlagen bald an ihre Grenzen unterhalb der Plattform. Interessant war es daher, Anlagen zu entwickeln, die außerhalb der Plattform liegen, und mit größeren Besatzdichten bestückt werden konnten, um die Anlage noch profitabler zu machen.

Der *Ocean Spar Net Pen* wurde entwickelt. Dieser gehört zu den Klasse II Käfigen mit einer würfelförmigen Form und einem Volumen von 500 m³ (ca. 8 x 8 x 8 m). Vier Auftriebskörper, an denen Holme befestigt waren, wurden an den Ecken des Käfigs verankert. Die Holme wurden mit Gewichten versehen, um dem nach unten hängenden Netz Spannung zu geben und das Volumen innerhalb des Käfigs zu garantieren. Jedoch erwies sich die Verankerung und die Spannvorrichtung gegenüber dem starken Seegang als nicht stabil genug, so daß der Käfig in geschütztere Umgebung geschleppt wurde, um die Sicherheit des Besatzes zu gewährleisten. Der Versuch, den *Ocean Spar Net Pen* Offshore einzusetzen, wurde mehrmals wiederholt und es traten immer wieder die gleichen Probleme auf.

In einem weiteren Entwicklungsschritt wurden in Zusammenarbeit mit den Ölgesellschaften ein halb-tauchbarer Käfig aus stabileren Polyethylen-Netzen (HDPE-Netze) entworfen, an dem ein luftgefüllter Ring befestigt war. Dieser konnte bei Bedarf gehoben oder abgesenkt werden. Der Käfig war aufgrund des neuen Materials sehr flexibel und die Oberfläche sehr glatt, so daß der Aufwuchs gering gehalten werden konnte. Dieses System konnte starkem Wellengang bis zu einem gewissen Grade standhalten, jedoch erwies sich der Rahmen und seine Querverstrebungen als instabil.

Ein neuer aus Aluminium konstruierter Rahmen und eine andere Takelungsweise konnte dieses Problem ebenfalls nicht lösen. Es wurden noch weitere Käfige mit neuen Materialien, besseren Rahmen und Netzen entworfen und dadurch die Lebensdauer immer weiter verlängert. Letztendlich konnten sie jedoch gegen die Naturgewalten, ob durch mechanische Kräfte der Wellen, starken Strömungsgeschwindigkeiten oder Biofouling, nie gänzlich bestehen.

Den Durchbruch „der Offshore-Käfig-Wissenschaft“ wurde von einem winzigen 4 m³-großen, hexagonalen Karbonstahl-Prototyp mit Fiberglasoberfläche erreicht. Er wurde im Golf von Mexiko am Fuße einer dort positionierten Plattform befestigt und mit 500 Stachelmakrelen (*Trachinotus carolinus*) bestückt, die innerhalb eines Jahres um das 15fache an Gewicht zunahmen. Die Fütterung wurde 5mal täglich von einem automatischen, durch Solarenergie angetriebenen, Spender ausgeführt.

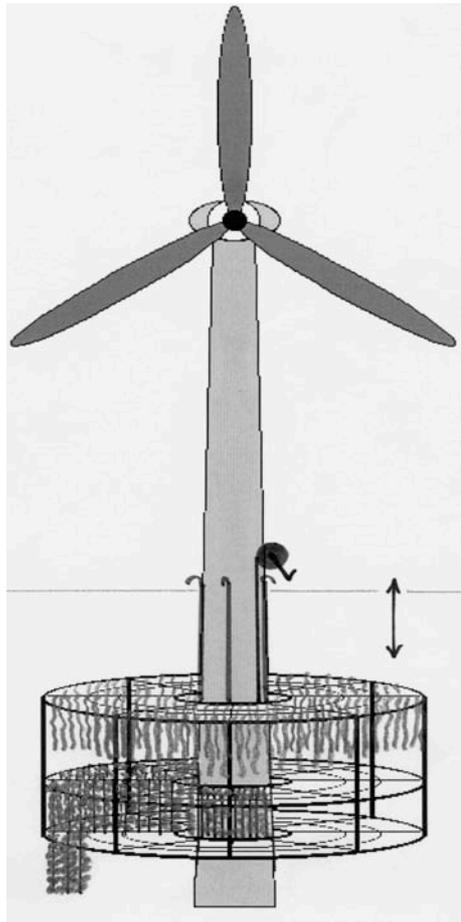
Diese enormen Fortschritte in Technik, Haltbarkeit und Zuchterfolg hatten den Bau eines größeren Käfigs gleichen Typs zur Folge, der ein Volumen von 95 m³ hatte und ähnlich montiert wurde, der sogenannte *Fibergrate Cage*. Ein kleiner Container mit Futterspender, Generator, Minilabor und Klappliegen für Personal wurde auf der Plattform untergebracht und durch Solarenergie betrieben. Neben dem Aquakulturbetrieb wurden hydrodynamische Messungen durchgeführt und direkt an Land übermittelt. Dort wurden in einem aufwendigen Monitoring-Programm physikalische Daten, Freß- und Wachstumsraten ausgewertet. 5.300 Umberfische mit einem durchschnittlichen Gewicht von 85 g wuchsen in 6 Monaten mit einer Überlebensrate von 71 % auf durchschnittlich 1 kg heran. Das war ein großer Erfolg für die kommerzielle marine Aquakultur, welches einen Forschungsaufwand von 6 Jahren belohnte. Bis heute wurden weitere Käfige von vielen Firmen konstruiert, um die Open Ocean Aquaculture kommerziell nutzbar zu machen. Nach *Joseph McElwee* aus Galway/Irland heißt es: „The successful ingredients for offshore mariculture are: big investments, big cages, big returns.“ Insgesamt wurden in diesem Projekt 13 verschiedene Fischarten auf ihre Nutzbarkeit hinsichtlich ihrer Biologie, Lebenszyklen, Aufzuchtmethodik und Abwachsverhalten untersucht. Gleichzeitig wurden Futter- und Ernäh-

rungsbedingungen, Krankheitsanfälligkeit, Wirtschaftlichkeit und Kulturtauglichkeit im Käfig getestet (SMITH, 1998).

Einige Ölplattformen, die vor der Küste Kaliforniens stehen, werden sehr aufwendig und kostspielig durch Taucher von Aufwuchs befreit. Die Firma *Ecomar* aus Santa Barbara hat sich auf die Entfernung des Biofoulings spezialisiert und hat darüber hinaus eine Strategie entwickelt, diesen „Bioabfall“, hauptsächlich Muscheln, zu vermarkten. So profitieren zwei Firmen mit einer Sache: Für den Plattformbetreiber wird die notwendige Behandlung an den Standbeinen der Plattformen durchgeführt und die Reinigungsfirma kann den Aufwuchs kommerziell nutzen und bietet daher die Pflege kostengünstiger an (DOUGALL, 1998).

6.2.2 Andere Kombinationen

Es gibt Pläne, vor New England (USA) eine Art Synergie zwischen Energiegewinnung und Aquakultur aufzubauen. Die Station *OSPNEY™* (**O**cean **S**well **P**owered **R**enewable **E**nergy) nutzt die Wellenkraft/Schwell und die Station *WOSP™* (**W**ind and **O**cean **S**well **P**ower) den Wind zur Energieerzeugung. Diese Anlagen brauchen ein großes Fundament, um den großen Kräften Widerstand leisten zu können. Sie sind laut der Firma *Wavegen* (England) ideal für die Kombination mit Käfigkulturen, da sie aufgrund ihrer stabilen Bauweise ausreichend Schutz für OOA-Anlagen böten. Ferner besitzen sie genügend Raum zum Verstauen von technischer Ausstattung und haben elektrischen Strom zur Verfügung (BRAGINTON-SMITH & MESSIER, 1998).



Teil II

Machbarkeitsstudie für den Raum Nordsee

Standortwahl (multifunktionale Nutzung von Offshore-Windparks und Alternativen); Besatz (Organismen, Polykulturen, Widerstandsfähigkeit, Wachstumsraten, Besatzdichte); Anlagen (Technik, Substrat, Befestigungsmöglichkeiten & Verankerungen); Pflegeaufwand; amtliche Genehmigungen; Logistik;

1.0 Standorte

Die geplanten Offshore-Windparks der Nordsee werden bis auf den Park „Nordergründe“ außerhalb des Küstenmeeres in der ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) gebaut. Einige Parks grenzen dabei an die 12-Seemeilenzone und überlappen diese teilweise, andere wiederum haben eine Entfernung zum nächsten Festlandhafen von ca. 160 km (z. B. Weiße Bank).

Nachfolgend sollen die einzelnen Windparks vorgestellt werden, wobei insbesondere auf die dort vorherrschenden Umweltbedingungen eingegangen wird. Solche Umweltbedingungen sind:

1. Strömungsgeschwindigkeiten an der Wasseroberfläche und in Bodennähe
2. Strömungsmuster (gezeitenabhängig)
3. Tidenhub
4. zu erwartende Wellenhöhe bzw. Höhe der Jahrhundertwelle
5. Tiefe (Bathymetrie)
6. Temperatur
7. Salinität
8. Wasserqualität (Sauerstoffkonzentration, Verschmutzungsgrad bzw. Nähe zu urbanen Abwässern, Algenblüten)

Diese Bedingungen, vor allem die Güte des Wassers, entscheiden, ob sich eine Region für die Errichtung einer Farm eignet, denn die einzige Sicherheit über die Güte der Wasserqualität ist die vorherige, sorgfältige Standortauswahl (LOVERICH, 1998).

Ein weiterer Aspekt im Raum deutsche Nordsee ist der vielseitige Gebrauch und die Inanspruchnahme anderer Nutzer, so daß Nutzerkonflikte entstehen können. Für einen genaueren Überblick stellt Abb. 25 eine Karte der Deutschen Bucht mit einigen darin enthaltenen momentanen Nutzflächen dar. Die einzelnen Nutzflächen, die in dieser Karte eingezeichnet sind, beruhen auf Daten des Bundesamtes für Naturschutz (BfN, Außenstelle Insel Vilm), wobei die Seekarte

INT 1045 50^D des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) in Hamburg die Kartengrundlage darstellt. Die Daten der verschiedenen Windparks wurden größtenteils von den Windparkbetreibern zur Verfügung gestellt.

1.1 Karte

Die eingezeichneten Flächen auf der Seekarte INT 1045 50^D des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) gibt Auskunft über den augenblicklichen Kenntnisstand des Bundesamtes für Naturschutz (BfN) bezüglich existierender und beantragter mariner Schutzgebiete sowie anderer Flächen, die ökologisch besonders wertvoll sind. Mit diesen Gebieten sind jedoch hinsichtlich der Lebensansprüche mariner Organismen (z. B. anadrome Wanderfische, einige marine Säuger, etc.) nicht alle schützenswerten Zonen beschrieben, da erhebliche Defizite im Kenntnisstand des Lebensraumverhaltens solcher Tiere vorliegen.

Alle an die Nordsee grenzenden Bundesländer haben einen großen Teil ihres Küstenraumes innerhalb der 12-Seemeilenzone als Nationalpark ausgewiesen. Diese decken sich teilweise mit anderen Schutzgebieten mit anderem Schutzstatus, wie z.B. mit den Biosphärenreservaten, *Ramsar*-Feuchtgebieten, EU-Vogelschutz- und FFH-Gebieten (siehe Teil II, Kap. 4.1.2). Außerhalb der Nationalparks gibt es nur westlich von Eiderstedt bis Helgoland ein weiteres Vogelschutzgebiet bzw. zwei FFH-Gebiete um Helgoland und um das Steinriff (östlich von Helgoland).

Andere sensitive, bisher noch ohne Schutzstatus deklarierte Gebiete sollen in das Programm der Schutzzonen aufgenommen werden. Solche Gebiete wären Areale mit Lebensraumtypen gemäß Anhang I, FFH-RL und/oder Arten gemäß Anlage II, FFH-RL und/oder mit besonders wichtigen ökologischen Vernetzungs- und Trittsteinfunktionen. Diese Zonen nehmen einen sehr großen Teil der AWZ-Flächen ein und reichen bis zu dem äußersten Zipfel der deutschen Hoheitsgewässer („Entenschnabel“).

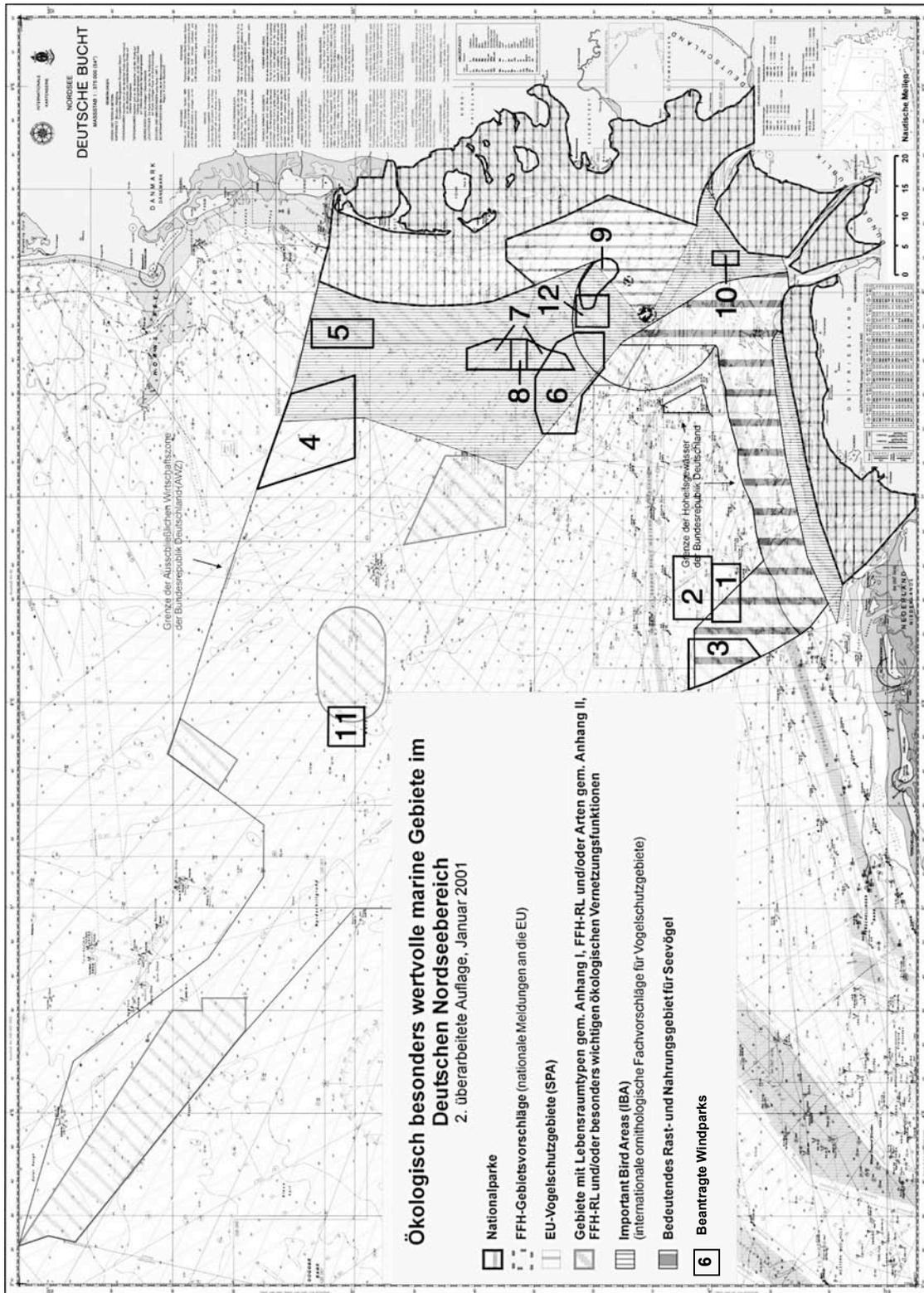


Abb. 25 Seekarte der deutschen Nordsee (und angrenzende Gebiete) mit seinen Nationalparks, Schutzgebieten sowie beantragten Windparkflächen auf Grundlage der Seekarte 1045 50^D des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH, 2000). Modifiziert nach BfN (2001)

Die „Important Bird Areas“ (IBA) sind von dem internationalen ornithologischen Dachverband "Bird Life International" aufgrund von Vogelzählungen identifiziert worden und beschreiben bedeutende zusammenhängende Vogel-Rastgebiete. Bei den "*Bedeutenden Rast- und Nahrungsgebiete für Seevögel*" handelt es sich um Schutzzonen, in denen eine große Anzahl an Pracht- und Sterntauchern, Trauerenten, Brandseeschwalben und Silbermöwen rasten, die Schutzwürdigkeit nach den Ramsar-Kriterien genießen.

Ferner sind auf der Karte Meeresgebiete eingezeichnet, die vom BfN aus natur-schutzfachlicher Sicht als mögliche Standorte für Windparks geeignet sind. Die noch weißen Flächen, die weder als aktuelle Schutzgebiete oder als ökologisch wertvoll schraffiert wurden, sind nicht deswegen als ökologisch minderwertig einzuordnen. Sie bilden daher nicht automatisch "Freiflächen" für Bauvorhaben aller Art. So gibt es Korridore, in denen die Betreibung eines Windparks in ihrer Auswirkung auf Flora und Fauna als ökologisch unbedenklich gelten, jedoch gibt es auch einige geplante Windparkstandorte, die mit schon festgelegten wie auch beantragten Schutzzonen überlappen. Es ist zu prüfen, ob eine Genehmigung für die extensive Bewirtschaftung einer Aquakulturfarm mit Muscheln oder Algen in solchen Gebieten erteilt werden kann. Es ist allerdings fraglich, ob dort auch Windparks gebaut werden dürfen. Wählt man jedoch weniger schützenswerte Areale, um kombiniert mit Windenergieanlagen eine Farm zu betreiben, ist die Entfernung zur Küste erheblich größer (z. B. Weiße Bank [Energiekontor] => 120 km, Gesellschaft für Energie & Ökologie [GEO] => 100 km), welches zu hohen Kosten bei der kommerziellen Betreibung einer Offshore-Aquakultur führen würde.

1.2 Erforderliche Daten

Die hierfür vorgestellten Daten zu den jeweiligen abiotischen Umweltfaktoren sind aus vorliegender Literatur, der Datenbank des BSH (Meeresumwelt-Reportsystem, *MURSYS*) und dem Deutschen Wetterdienst entnommen. Fer-

ner haben einige Windparkbetreiber die von ihnen selbst erhobenen Daten zur Verfügung gestellt.

Strömungsdaten, wie Geschwindigkeit und Muster, wurden aus dem Atlas „Strömungen in der Deutschen Bucht“ (MITTELSTAEDT *et al.*, 1983) bereitgestellt. Dabei wurden die jeweils höchsten zu erwartenden Strömungsgeschwindigkeiten der Gezeitenströmung mit dem Bezugspunkt Helgoland um 3 h vor bzw. 3 h nach Hochwasser verwendet. Da manche küstennahen Flachwasserbereiche am Rande des Festlandsockels im Vergleich zu zentralen Bereichen der Deutschen Bucht durch größere Strömungsgeschwindigkeiten in Bodennähe geprägt sind, werden im Folgenden die Geschwindigkeiten sowohl für das Oberflächenwasser, als auch für die Strömungen in Bodennähe angegeben. Alle anderen Strömungsgeschwindigkeiten (mittlere Strömung, Restströmung, winderzeugte Strömung) sind entweder geringer oder unbedeutend. Das Strömungsmuster (Stromfiguren) soll den Wasseraustausch unter Angabe der Strömungsrichtung zu jeder vollen Stunde darstellen. Hier wurden drei Bereiche der Nordsee ausgewählt, die sich in ihrer Form unterscheiden und jeweils eine spezielle Figur darstellen.

Daten über den zu erwartenden Tidenhub bzw. der Wellenhöhe sind für die Regionen der einzelnen Windparks nur unvollständig vorhanden. Wenn keine Daten von den Windparkbetreibern zur Verfügung stehen, sind Tidenhub und Wellenhöhe von Helgoland abgeleitet. Letztere wurden unter Zugrundelegung von adiabatischer Temperaturschichtung für die jeweiligen Mittelungszeiten der Windgeschwindigkeit für die Wiederholungsperioden von 50 bzw. 100 Jahren errechnet. Für das Wellenprofil werden im folgenden nur Daten der zu erwartenden Jahrhundertwelle angegeben.

Die Bathymetrie des Nordseeraumes und die lokale Wassertiefe wurde der aktuellsten Seekarte der BSH entnommen, die Wasseroberflächentemperaturen aus den Berichten der *MURSYS* (2000). Diese Berichte dienen auch der Zusammenstellung der Daten über die zu erwartenden lokalen Wasserqualität und der Salinität.

1.2.1 Daten für die Deutsche Bucht

Obwohl das Hoch- bzw. Niedrigwasser in der deutschen Bucht nicht überall gleichzeitig auftritt, ähnelt die Gezeitenwelle einer stehenden Welle: die langsamste Strömung herrscht zur Hoch- bzw. Niedrigwasserzeit, die größte Strömung bei einlaufendem bzw. auslaufendem Strom (3 h vor bzw. 3 h nach Hochwasser). Hier ist die Horizontalgeschwindigkeit der Gezeitenwelle vom Tidenhub abhängig. Als Referenz wurde der Tidenhub vor Helgoland gewählt (Nipptidenhub = 1,9 m; Springtidenhub = 2,7 m). Die Strömungsrichtung ändert sich zu Nipp-/Springzeit eher selten und kommt nur dann vor, wenn die Strömung im allgemeinen sehr gering ist.

Die stärkste Strömung zu Springtiden in Oberflächen- und Bodennähe wurde 3 h vor Hochwasser in den Elb- & Jademündungen gemessen (1,1 m/s und 1,2 m/s). Zu Nipptiden wurde die höchste Strömungsgeschwindigkeit im Oberflächenwasser ebenfalls in der Elbmündung bzw. zwischen Amrum und Sylt (1,05 m/s und 1,15 m/s), in Bodennähe in der Elb-/Jademündung und westlich Borkum (1,05 m/s, 0,8 m/s, 0,75 m/s) gemessen. 3 h nach Hochwasser ist die stärkste Strömung zu Springtiden in Oberflächennähe in der Jademündung und zwischen Amrum und Sylt (1,05 m/s und 1,1 m/s), in Bodennähe in der Jademündung und westlich von Cuxhaven (1,05 m/s und 0,8 m/s). Zu Nipptiden wurden 3h nach Hochwasser die stärksten Strömungen in der Jademündung, westlich von Borkum und zwischen Amrum und Sylt (0,9 m/s, 0,9 m/s und 0,8 m/s), in Bodennähe in der Jademündung und westlich von Cuxhaven (0,9 m/s und 0,7 m/s) gemessen. Niedrigste Strömungsgeschwindigkeiten herrschen in dem zentralen Bereich der Nordsee und liegen in der Regel unter 0,5 m/s zu allen Zeiten in allen Tiefen.

In der deutschen Bucht wurden drei spezifische Strömungsmuster gewählt (Abb. 26):

- (a) nördlich von Borkum (Windparks 1-3),
- (b) nördlich von Helgoland (Windparks 6-9, 11-12),
- (c) an der Weißen Bank (Windpark 10) und
- (d) westlich der Insel Sylt.

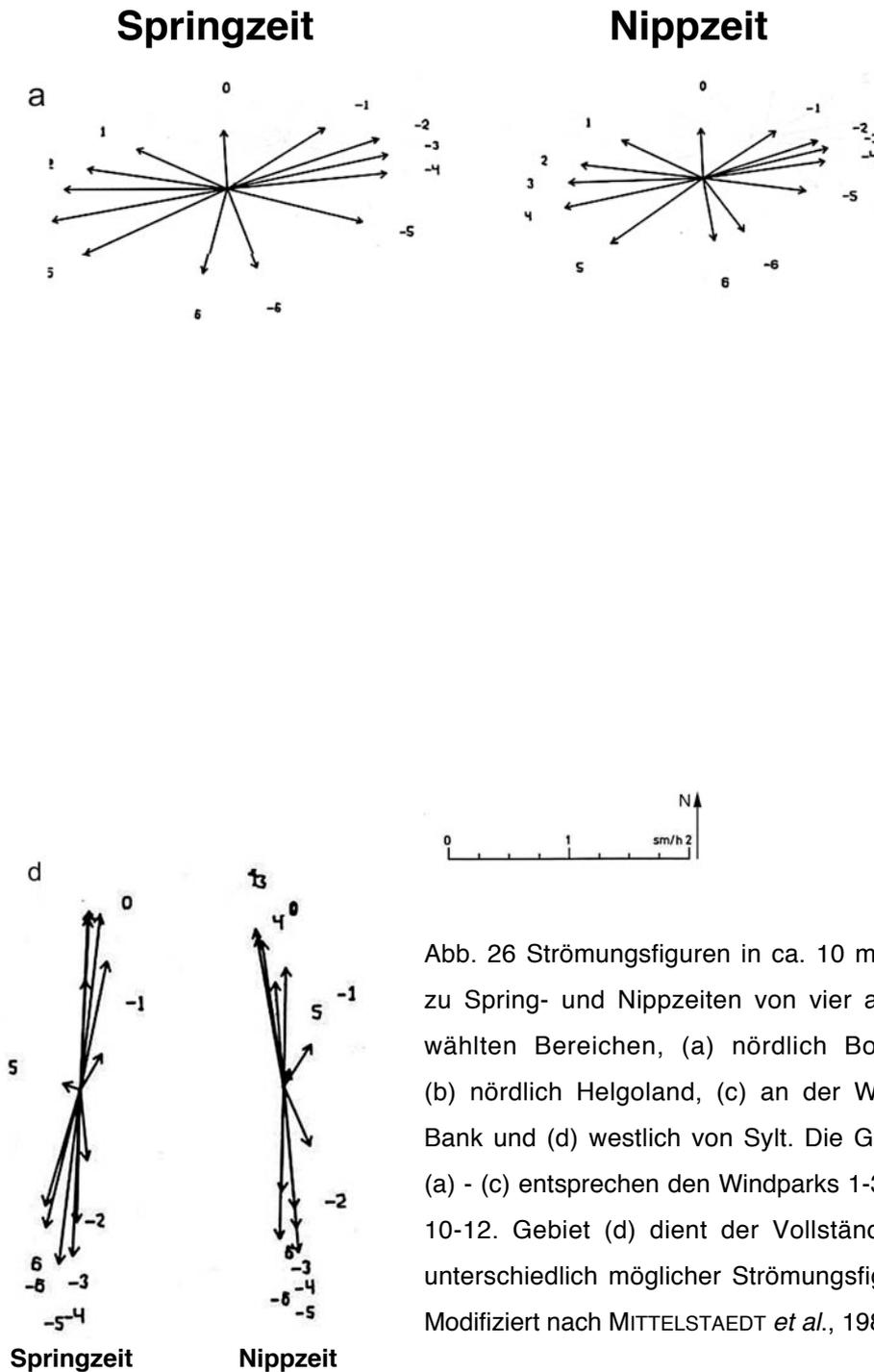


Abb. 26 Strömungsfiguren in ca. 10 m Tiefe zu Spring- und Nippzeiten von vier ausgewählten Bereichen, (a) nördlich Borkum, (b) nördlich Helgoland, (c) an der Weißen Bank und (d) westlich von Sylt. Die Gebiete (a) - (c) entsprechen den Windparks 1-3, 6-9, 10-12. Gebiet (d) dient der Vollständigkeit unterschiedlich möglicher Strömungsfiguren. Modifiziert nach MITTELSTAEDT *et al.*, 1983

Andere Bereiche in der deutschen Nordsee zeigen ähnliche Muster und werden daher hier nicht aufgeführt. Im Bereich (a) sind die Stromellipsen regelmäßig und kaum deformiert, wobei die Hauptachse in westlicher Richtung verläuft. Für die Windparks 1-3 ist diese Figur als Referenz für die Gebiete der Parks anzusehen. In (b) sind die Strömungen kreisförmig und in (c) neigt der einlaufende Strom dazu, 3-4 Stunden lang mit unveränderter SO-Richtung in die deutsche Bucht zu fließen. In allen Gebieten dreht die Strömung entgegen dem Uhrzeigersinn. Durch die Gezeitenströmungen in der Nordsee (Geschwindigkeit und Muster) kann man daher mit einem sehr hohen Austausch der Wassermassen und hohem Durchmischungsgrad der Wassersäule rechnen.

Nach Angaben der BSH liegen die mittleren Verhältnisse für den Tidenhub in den betreffenden Gebieten zwischen 0,5 - 2,5 m. Für den zu erwartenden See- gang zeigt sich (neben der Jahrhundertwelle) eine mittlere Wellenhöhe von 1,5 - 1,9 m, bzw. Wellenperioden für Windsee und Dünung von 5,1 - 5,7 s bzw. 7,5 - 8,2 s ab (MITTELSTAEDT, pers. Komm). Genauere Angaben hierzu sind bei der Vorstellung der einzelnen Windparks angegeben.

Die zu erwartenden Temperaturen im Offshore-Bereich liegen im allgemeinen bei 3°C / 22°C (Winter / Sommer in einer Tiefe von 5 m) bzw. bei 3°C / 18°C (Winter / Sommer in einer Tiefe von 30 m), wobei die Temperaturen im Küstenmeer homotherm sind. Generell gilt, daß die Temperatur von der Küste her zur zentralen deutschen Nordsee hin um 1-2° C zunimmt.

Die Salinität schwankt im Küstenmeer um 31,5 – 32 ‰ und ist damit als homosalin zu bezeichnen (Ausnahme: Mündungen von Jade, Weser und Elbe bzw. Nationalparks im Wattenmeer). In der AWZ steigt die Salinität bis zum „Entenschnabel“ auf 34,75 ‰ an. Es gibt im Jahresgang wenig Schwankungen.

Daten aus wöchentlichen Wasseranalysen (MURSYS, 2000) für das Küstenmeer ergaben eine Phosphatkonzentration von 0,91 µmol/L (± 0,13), eine Silikatkonzentration von 24 µmol/L (± 4) sowie Stickstoffkonzentrationen (NO_x) von 50 µmol/L (± 5). Die Phosphatkonzentrationen fallen zur AWZ auf 0,63 µmol/L (±0,13), die Silikatkonzentration auf 10 µmol/L (± 4) und die Stickstoffkonzentrationen (NO_x) auf 24 µmol/L (± 5). In Richtung „Entenschnabel“ betragen die

Phosphatkonzentration $< 0,4 \mu\text{mol/L}$, die Silikatkonzentration $< 5 \mu\text{mol/L}$ und die Stickstoffkonzentrationen (NO_x) $< 10 \mu\text{mol/L}$.

Ammoniumkonzentrationen liegen an der Küste bei $4 \mu\text{mol/L}$ und nehmen nach NM zum „Entenschnabel“ hin auf $< 0,5 \mu\text{mol/L}$ ab.

Die Sauerstoffgehalte in der deutschen Bucht liegen in Tiefen von 6 und 30 m bei ca. 100 % Sättigung.

Erdölkohlenwasserstoff-Konzentrationen sind in Küstennähe bei ca. $1,1 \mu\text{g/L}$, nehmen jedoch zur mittleren Nordsee auf ca. $0,1 \mu\text{g/L}$ ab. Aufgrund dieser Werte ist das Wasser als gering belastet einzuordnen. Andere organische Schadstoffe wie PAK (Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe [$0,01 - 0,1 \text{ ng/L}$]), α -HCH (Hexachlor-cyclohexan [$0,1 - 0,25 \text{ ng/L}$]), δ -HCH ($0,36 \text{ ng/L}$) und HCB (Hexachlorbenzol) sowie seine Abbauprodukte sind als geringfügige Konzentrationen einzuschätzen.

Die Schwermetallbelastungen, wie Blei, Kupfer, Nickel, Zink, Quecksilber, nehmen in den letzten Jahren kontinuierlich ab. Da viele Metalle typischerweise vom Land her eingetragen werden, nimmt die Konzentration der Schwermetalle in Richtung NW („Entenschnabel“) ab, was eine geringe Konzentrationen der Wassersäule in den betroffenen Gebieten im Offshore-Bereich darstellt.

Der Gehalt an Chlorophyll in der oberen Wassersäule kann im Küstenmeer bis zu $4,5 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ erreichen (bei urbanen Abwässern in der Ästuaren Weser und Elbe sogar bis $10 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$). Bis zur mittleren Nordsee hin nehmen dann die Chlorophyllkonzentrationen auf $1,5 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ab.

Unter Verwendung des Datensatzes des Systems MURSYS (2000) wird wie folgt eine Liste der in der Nordsee am häufigsten vorkommenden Algen im Jahresverlauf dargestellt.

Für den Nordseeraum ist im Frühjahr ein geringes Planktonvorkommen charakteristisch. In der Regel dominieren Kieselalgen (z. B. *Thalassiosira*- und *Odontella*-Arten) gegenüber Flagellaten und Dinoflagellaten. Am Frühjahrsende bzw. ab dem Monat März ist schon mit Kolonien der Schaumalge *Phaeocystis globosa* zu rechnen. Zu diesem Zeitpunkt ist das sich entwickelnde Planktonspektrum stark temperaturabhängig. Heizt sich die Nordsee schneller auf als im

Durchschnitt, so können einige Dinoflagellaten (z. B. *Chaetoceros*) nachgewiesen werden, die von Beständen der Kieselalgen *Guinardia delicatula*, *Pseudonitschia seriata* oder *Eucampia zoodiacus* ergänzt werden können. Begleitend können auch toxische Algenblüten vorkommen. So läßt sich häufig der Flagellat *Chattonella* bestimmen, der gegenüber einigen Fischen letal wirken kann.

Über den Sommer sorgen in der Regel Strömungen und Küstenwinde für Schaumbildung, die durch die Alge *Phaeocystis* hervorgerufen wird. Im selben Zeitraum ist das Meeresleuchten der *Noctiluca scintillans* zu beobachten, welches sich massenhaft ausbreiten kann. Kieselalgen der Gattung *Guinardia* können mitunter dominieren, können aber durch hohes Aufkommen von Flagellaten (z. B. *Ceratium*-Arten, *Protoperdinium*), Diatomeen (z. B. *Coscinodiscus*-, *Chaetoceros*- und *Guinardia* Arten, *Thalassiosira rotula*, *Leptocylindrus minimus*, *Eucampia zoodiacus*, *Odontella sinensis*), Panzerflagellaten (z. B. *Prorocentrum*-Arten, *Gyrodinium*) und Ciliaten (*Myrionecta rubra*) abgelöst oder ergänzt werden.

In der Regel werden zum Herbst hin bei windigem Wetter und fallenden Wassertemperaturen der Phytoplanktonbestand reduziert. In der Regel treten Schaumalgenkolonien am häufigsten auf.

Die häufigsten toxischen Algen (z. B. *Dinophysis*, *Fibriocapsa japonica* oder *Chattonella*-Arten) sind größtenteils in nur geringen Konzentrationen vertreten. Im Jahre 2000 traten die toxischen Algen *Dinophysis acuminata*, *Chrysochromulina* sp., *Chattonella* sp., *Alexandrium* sp., *Heterocapsa* sp. und *Fibrocapsa* sp. vereinzelt in Erscheinung.

1.2.2 Daten und Standorte der geplanten Windparks im Raum Nordsee

Auf den folgenden Seiten werden alle momentan geplanten Windparks der Nordsee vorgestellt. Einige Windparkbetreiber befinden sich vor oder im Antragsverfahren, andere Parks sind schon im Genehmigungsverfahren bzw. erhalten in Kürze eine Erlaubnis für den Bau einer Pilotanlage.

Windpark 1	ungefähre Lage (Windparkmittelpunkt)	54°04' N 6°34' E
Standort: Der geplante Windpark liegt außerhalb der 12-Seemeilenzone in der AWZ. Die Fläche des Parks überlappt mit folgenden (geplanten und/oder vorhandenen) Schutzgebieten: 1. Gebiete mit Lebensraumtypen gemäß Anhang I, FFH-RL und/oder Arten gemäß Anlage II, FFH-RL und/oder besonders wichtigen ökologischen Vernetzungs- und Trittsteinfunktionen 2. Bedeutende Rast- und Nahrungsgebiete für Seevögel		
Betreiber	<i>PROKON</i>	
geplante Anzahl der Anlagen	268 WEA	
Entfernung zum nächsten Hafen	ca. 33 sm (Borkum)	
Abiotische Umweltfaktoren		
Wassertiefe	27 - 35 m	
Strömungsgeschwindigkeit	0,6 m·s ⁻¹	
Tidenhub	1,5 - 2,0 m	
Wellenhöhen: (¹ / ₂ -Jahrhundertwelle/mittlere Höhe/ Perioden für Windsee und Dünung)	14,8 m/1,6 m/5,2 s/7,7 s	

Windpark 2	ungefähre Lage (Windparkmittelpunkt)	53°57' N 6°32' E
Standort: Der geplante Windpark liegt außerhalb der 12-Seemeilenzone in der AWZ. Die Fläche des Parks überlappt mit folgenden (geplanten und/oder vorhandenen) Schutzgebieten: 1. Gebiete mit Lebensraumtypen gemäß Anhang I, FFH-RL und/oder Arten gemäß Anlage II, FFH-RL und/oder besonders wichtigen ökologischen Vernetzungs- und Trittsteinfunktionen 2. Bedeutende Rast- und Nahrungsgebiete für Seevögel		
Betreiber	<i>PLAMBECK</i>	
geplante Anzahl der Anlagen	175 WEA	
Entfernung zum nächsten Hafen	ca. 37 sm (Borkum)	
Abiotische Umweltfaktoren		
Wassertiefe	23 - 29 m	
Strömungsgeschwindigkeit	0,6 m·s ⁻¹	
Tidenhub	1,5 - 2,0 m	
Wellenhöhen: (¹ / ₂ -Jahrhundertwelle/mittlere Höhe/ Perioden für Windsee und Dünung)	14,8 m/1,6 m/5,2 s/7,7 s	

Windpark 3	ungefähre Lage (Windparkmittelpunkt)	54°03' N 6°14 E
<p>Standort:</p> <p>Der geplante Windpark liegt außerhalb der 12-Seemeilenzone in der AWZ. Die Fläche des Parks überlappt mit folgenden (geplanten und/oder vorhandenen) Schutzgebieten:</p> <ol style="list-style-type: none"> Gebiete mit Lebensraumtypen gemäß Anhang I, FFH-RL und/oder Arten gemäß Anlage II, FFH-RL und/oder besonders wichtigen ökologischen Vernetzungs- und Trittsteinfunktionen Bedeutende Rast- und Nahrungsgebiete für Seevögel 		
Betreiber	ENERGIEKONTOR	
geplante Anzahl der Anlagen	460 WEA	
Entfernung zum nächsten Hafen	ca. 35 sm (Borkum)	
Abiotische Umweltfaktoren		
Wassertiefe	30 - 35 m	
Strömungsgeschwindigkeit	0,55 m·s ⁻¹	
Tidenhub	1,5 - 2,25 m	
Wellenhöhen: (¹ / ₂ -Jahrhundertwelle/mittlere Höhe/ Perioden für Windsee und Dünung)	14,8 m/1,6 m/5,2 s/7,7 s	

Windpark 4	ungefähre Lage (Windparkmittelpunkt)	55°07' N 7°19' E
<p>Standort:</p> <p>Der geplante Windpark liegt außerhalb der 12-Seemeilenzone in der AWZ. Die Fläche des Parks überlappt mit folgenden (geplanten und/oder vorhandenen) Schutzgebieten:</p> <ol style="list-style-type: none"> Important Bird Areas 		
Betreiber	GEO (Gesellschaft für Energie & Ökologie)	
geplante Anzahl der Anlagen	300 WEA	
Entfernung zum nächsten Hafen	ca. 43 sm (List)	
Abiotische Umweltfaktoren		
Wassertiefe	20 - 31 m	
Strömungsgeschwindigkeit	0,35 m·s ⁻¹	
Tidenhub	1,0 - 1,5 m	
Wellenhöhen: (¹ / ₂ -Jahrhundertwelle/mittlere Höhe/ Perioden für Windsee und Dünung)	12,9 m/1,6 m/5,3 s/7,8 s	

Windpark 5	ungefähre Lage (Windparkmittelpunkt)	55°07' N 7°19' E
<p>Standort:</p> <p>Der geplante Windpark liegt außerhalb der 12-Seemeilenzone in der AWZ. Die Fläche des Parks überlappt mit folgenden (geplanten und/oder vorhandenen) Schutzgebieten:</p> <ol style="list-style-type: none"> Gebiete mit Lebensraumtypen gemäß Anhang I, FFH-RL und/oder Arten gemäß Anlage II, FFH-RL und/oder besonders wichtigen ökologischen Vernetzungs- und Trittsteinfunktionen Important Bird Areas 		
Betreiber	<i>BUTENDIEK GmbH</i>	
geplante Anzahl der Anlagen	80 WEA	
Entfernung zum nächsten Hafen	ca. 24 sm (List)	
Abiotische Umweltfaktoren		
Wassertiefe	16 - 19 m	
Strömungsgeschwindigkeit	0,35 m·s ⁻¹	
Tidenhub	0,5 - 1,0 m	
Wellenhöhen: (¹ / ₂ -Jahrhundertwelle/mittlere Höhe/ Perioden für Windsee und Dünung)	10,6 m/1,7 m/5,5 s/7,9 s	

Windpark 6	ungefähre Lage (Windparkmittelpunkt)	54°25' N 7°36' E
<p>Standort:</p> <p>Der geplante Windpark liegt außerhalb der 12-Seemeilenzone in der AWZ. Die Fläche des Parks überlappt mit folgenden (geplanten und/oder vorhandenen) Schutzgebieten:</p> <ol style="list-style-type: none"> Gebiete mit Lebensraumtypen gemäß Anhang I, FFH-RL und/oder Arten gemäß Anlage II, FFH-RL und/oder besonders wichtigen ökologischen Vernetzungs- und Trittsteinfunktionen Important Bird Areas 		
Betreiber	<i>WINDLAND</i>	
geplante Anzahl der Anlagen	292 WEA	
Entfernung zum nächsten Hafen	ca. 18 sm (Helgoland)	
Abiotische Umweltfaktoren		
Wassertiefe	22 - 29 m	
Strömungsgeschwindigkeit	0,4 m·s ⁻¹	
Tidenhub	2,0 - 2,5 m	
Wellenhöhen: (¹ / ₂ -Jahrhundertwelle/mittlere Höhe/ Perioden für Windsee und Dünung)	10,6 m/1,5 m/5,1 s/7,5 s	

Windpark 7	ungefähre Lage (Windparkmittelpunkt)	54°39' N 7°44' E	54°36' N 7°44' E	54°27' N 7°44' E
Standort: Der geplante Windpark liegt außerhalb der 12-Seemeilenzone in der AWZ. Die Fläche des Parks überlappt mit folgenden (geplanten und/oder vorhandenen) Schutzgebieten: 1. Gebiete mit Lebensraumtypen gemäß Anhang I, FFH-RL und/oder Arten gemäß Anlage II, FFH-RL und/oder besonders wichtigen ökologischen Vernetzungs- und Trittsteinfunktionen 2. Important Bird Areas				
Betreiber		WINKRA		
geplante Anzahl der Anlagen		60/65/125 (oder 2 x 125) WEA		
Entfernung zum nächsten Hafen		ca. 30/26/18 sm (Helgoland)		
Abiotische Umweltfaktoren				
Wassertiefe		20 - 24 m		
Strömungsgeschwindigkeit		0,4 m·s ⁻¹		
Tidenhub		2,0 - 2,6 m		
Wellenhöhen: (¹ / ₂ -Jahrhundertwelle/mittlere Höhe/ Perioden für Windsee und Dünung)		9,7 m/1,5 m/5,1 s/7,5 s		

Windpark 8	ungefähre Lage (Windparkmittelpunkt)	54°33' N 7°44' E
Standort: Der geplante Windpark liegt außerhalb der 12-Seemeilenzone in der AWZ. Die Fläche des Parks überlappt mit folgenden (geplanten und/oder vorhandenen) Schutzgebieten: 1. Gebiete mit Lebensraumtypen gemäß Anhang I, FFH-RL und/oder Arten gemäß Anlage II, FFH-RL und/oder besonders wichtigen ökologischen Vernetzungs- und Trittsteinfunktionen 2. Important Bird Areas		
Betreiber		RENNERT
geplante Anzahl der Anlagen		72 WEA
Entfernung zum nächsten Hafen		ca. 20 sm (Helgoland, Amrum)
Abiotische Umweltfaktoren		
Wassertiefe		26 m
Strömungsgeschwindigkeit		0,35 m·s ⁻¹
Tidenhub		2,0 - 2,6 m
Wellenhöhen: (¹ / ₂ -Jahrhundertwelle/mittlere Höhe/ Perioden für Windsee und Dünung)		9,7 m/1,5 m/5,1 s/7,5 s

Windpark 9	ungefähre Lage (Windparkmittelpunkt)	54°19' N 8°02' E
<p>Standort:</p> <p>Der geplante Windpark liegt außerhalb der 12-Seemeilenzone in der AWZ. Die Fläche des Parks überlappt mit folgenden (geplanten und/oder vorhandenen) Schutzgebieten:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Gebiete mit Lebensraumtypen gemäß Anhang I, FFH-RL und/oder Arten gemäß Anlage II, FFH-RL und/oder besonders wichtigen ökologischen Vernetzungs- und Trittsteinfunktionen 2. Important Bird Areas 3. EU-Vogelschutzgebiete 		
Betreiber	WKN	
geplante Anzahl der Anlagen	200 WEA	
Entfernung zum nächsten Hafen	ca. 11 sm (Helgoland)	
Abiotische Umweltfaktoren		
Wassertiefe	14 - 20 m	
Strömungsgeschwindigkeit	0,4 m·s ⁻¹	
Tidenhub	2,5 m (± 0,25)	
Wellenhöhen: (¹ / ₂ -Jahrhundertwelle/mittlere Höhe/ Perioden für Windsee und Dünung)	9,2 m/1,5 m/5,1 s/7,5 s	

Windpark 10	ungefähre Lage (Windparkmittelpunkt)	54°52' N 8°05' E
<p>Standort:</p> <p>Der geplante Windpark liegt außerhalb der 12-Seemeilenzone in der AWZ. Die Fläche des Parks überlappt mit folgenden (geplanten und/oder vorhandenen) Schutzgebieten:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Important Bird Areas 2. Bedeutende Rast- und Nahrungsgebiete für Seevögel 3. Nationalpark 4. FFH-Gebietsvorschläge 5. EU-Vogelschutzgebiete 		
Betreiber	ENERGIEKONTOR	
geplante Anzahl der Anlagen	55-75 WEA	
Entfernung zum nächsten Hafen	ca. 10 sm (Wangerooge)	
Abiotische Umweltfaktoren		
Wassertiefe	2 - 12 m	
Strömungsgeschwindigkeit	1 m·s ⁻¹	
Tidenhub	1,5 - 2,0 m (3,75 m bei Springtide)	
Wellenhöhen: (¹ / ₂ -Jahrhundertwelle/mittlere Höhe/ Perioden für Windsee und Dünung)	8 m/1,5 m/5,1 s/7,6 s	

Windpark 11	ungefähre Lage (Windparkmittelpunkt)	keine Angaben
<p>Standort:</p> <p>Der geplante Windpark liegt außerhalb der 12-Seemeilenzone in der AWZ. Die Fläche des Parks überlappt mit folgenden (geplanten und/oder vorhandenen) Schutzgebieten:</p> <p>1. Gebiete mit Lebensraumtypen gemäß Anhang I, FFH-RL und/oder Arten gemäß Anlage II, FFH-RL und/oder besonders wichtigen ökologischen Vernetzungs- und Trittsteinfunktionen</p>		
Betreiber	<i>ENERGIEKONTOR</i>	
geplante Anzahl der Anlagen	?? WEA	
Entfernung zum nächsten Hafen	ca. 86 sm (Helgoland)	
Abiotische Umweltfaktoren		
Wassertiefe	30 - 35 m	
Strömungsgeschwindigkeit	0,5 m·s ⁻¹	
Tidenhub	0,5 - 1,0 m	
Wellenhöhen: (¹ / ₂ -Jahrhundertwelle/mittlere Höhe/ Perioden für Windsee und Dünung)	18 m/1,9 m/5,7 s/8,2 s	

Windpark 12	ungefähre Lage (Windparkmittelpunkt)	keine Angaben
<p>Standort:</p> <p>Der geplante Windpark liegt außerhalb der 12-Seemeilenzone in der AWZ. Die Fläche des Parks überlappt mit folgenden (geplanten und/oder vorhandenen) Schutzgebieten:</p> <p>1. Gebiete mit Lebensraumtypen gemäß Anhang I, FFH-RL und/oder Arten gemäß Anlage II, FFH-RL und/oder besonders wichtigen ökologischen Vernetzungs- und Trittsteinfunktionen</p> <p>2. Important Bird Areas</p>		
Betreiber	<i>WINKRA</i>	
geplante Anzahl der Anlagen	?? WEA	
Entfernung zum nächsten Hafen	ca. 11 sm (Helgoland)	
Abiotische Umweltfaktoren		
Wassertiefe	20 - 23 m	
Strömungsgeschwindigkeit	0,4 m·s ⁻¹	
Tidenhub	2,5 m (± 0,25)	
Wellenhöhen: (¹ / ₂ -Jahrhundertwelle/mittlere Höhe/ Perioden für Windsee und Dünung)	9,7 m/1,5 m/5,1 s/7,5 s	

2.0 Besatz

In diesem Kapitel werden die in der Nordsee heimischen Organismen auf ihre Tauglichkeit für einen Einsatz in einer extensiv betriebenen Offshore-Marikultur diskutiert. Mögliche Kandidaten sind Makroalgen, Muscheln, Fische und Hummer. Grundsätzlich sollen keine nicht heimischen Arten in Erwägung gezogen werden, da dringend von einer möglichen Gefahr der Floren- und Faunenverfälschung abzuraten ist. Dieses betrifft ebenso diejenigen Organismen, die nicht das ganze Jahr über in der Nordsee vorkommen.

2.1 Algen

Während die herkömmliche Aquakultur das Wachstum und die Vermarktung von heterotrophen Organismen zum Ziel haben, handelt es sich hier um eine gezielte Steigerung von autotrophen Organismen. Hier werden, im Gegensatz zur Kultur mit den meisten heterotrophen Organismen, keine Nährstoffe und andere Chemikalien in das Wasser eingebracht, sondern aus dem Wasser sorbiert. Hierdurch wird die Umwelt geschont.

2.1.1 Verwendung

Algen werden vielseitig genutzt. Viskose, quellfähige Inhaltsstoffe im Thallus der Algen (Phykokolloide; phykos = Alge) finden hauptsächlich in der Nahrungsmittelindustrie Verwendung. Phykokolloide sind in den Rotalgen *Agar* (vorwiegend aus *Gelidium* und *Gracilaria*) oder *Carrageenan* (vorwiegend aus *Kappaphycus*, *Euचेuma* und *Chondrus*) enthalten, so daß man abgeleitet von den Gruppen der Agarophyten und Carrageenophyten spricht. Eine andere kolloidale Stoffgruppe sind die *Alginate* (Alginsäure) der Phaeophyceae, die meist aus *Laminaria*, *Ascophyllum* und *Macrocystis* gewonnen werden. Polyme-

re aus Chlorophyceen (z. B. Ulvan aus *Ulva lactuca*) werden weniger häufig genutzt.

Diese chemischen Stoffgruppen sind neben ihrer Nutzung für Nahrungsmittel Basis in der Textil- und Farbenindustrie, in der kosmetischen und pharmazeutischen Industrie sowie in vielen weiteren Industriezweigen. Tabelle 7 gibt Auskunft über die Anwendung der verschiedenen Phykokolloide in der Industrie.

In Asien, Kanada und in manchen europäischen Ländern wie Frankreich, Irland, Großbritannien und Skandinavien werden Algen auch als direkte Nahrungsmittel verwendet. Sie gelten je nach Art als sehr vitamin- und mineralreich (z. B. *Palmaria*, *Porphyra*, *Undaria*). Sie werden neben dem Verzehr als Gemüse in Salaten auch als Reismantel (z. B. *Porphyra*, Sushi-Rollen) verwendet. In Deutschland gelten Algen als Nahrungsergänzungsmittel und unterliegen besonderen Bestimmungen der Lebensmittelverordnungen.

Weiteren Einsatz finden Algen in der verarbeitenden Industrie als Fischfutter und Düngemittel. Neben den oben erwähnten Stoffgruppen enthalten einige Algen die L-Kainsäure, die erfolgreich als Wurmmittel Anwendung findet.

Manche Algen können durch Vergärung zu Biogas für die Energiegewinnung verwendet werden. In den 70er Jahren wurden Makroalgen in dem *Marine Biomass Energy Program* auf ihre Anwendbarkeit für die Biogasproduktion durch die *American Gas Association* (AGA) bzw. das *Gas Research Institute* (GRI) untersucht (RITCHARD, 1992). Allerdings waren die ausgewählten Gebiete für die Kultivierung von solchen Algen nährstofflimitiert, was eine Düngung der Farmen erforderte. Die Kosten für die Düngung überschritten jedoch den zu erwartenden Wert des Produktes um ein Vielfaches, so daß Versuche dieser Art eingestellt wurden.

Eine geringe, jedoch ernstzunehmende Verwendung einer Algenfarmen ist der Einsatz zur Reduzierung des CO₂-Gehalts in der Atmosphäre. Mit dem EPRI-Mitigation-Programm (*Electric Power Research Institute*) sollte die Absorption von CO₂ aus der Atmosphäre im Ozean und die dortige Aufnahme des gelösten CO₂ von Algen untersucht werden (EPRI, 1990; SPENCER, 1991). Algenfarmen sollen CO₂ als Kohlenstoffquelle nutzen (NEUSHUL, 1991) und so der C-Falle am

Meeresboden entgegenwirken (RITCHARD, 1992). Ergebnisse dieser Vorhaben wurden bisher nicht veröffentlicht.

Dubi & TØRUM (1994) und WANG & TØRUM (1994) entwarfen ein Modell, das den Einfluß von Laminarien auf die Fixierung des Sediments am Meeresgrund bzw. auf die veränderten Sedimentfrachtraten berechnet. Der Einsatz von „Kelpwäldern“ könnte bei Verwendung eines geeigneten Substrates die Erosion vor den Nord- und Ostfriesischen Inseln einschränken und somit einen Beitrag zur Kostensenkung im Küstenschutz leisten.

Tab. 7 Einsatz verschiedener Phykokolloide in einigen Industriezweigen. Zusammengestellt nach LÜNING (1985), KIRST (1991) und JENSEN (1993)

Stoffgruppen	Industriezweig		
	Nahrungsmittel- Industrie	Textil- & Farben- Industrie, andere	kosmetische & pharmazeutische Industrie
Agar	Gelee, Marmelade, Pudding, Fleischkonserven, Wursthüllen, Diät-/Schlankheitsnahrung	-	Zahnpasta, Rasierseife, Lippenstifte, Nährböden für die Mikrobiologie
Carrageenan	Gelee, Marmelade, Pudding, Fleischkonserven, Säfte, Limonaden, Speiseeis, Kakaogetränke, Salatsaucen	-	Zahnheilkunde, Hautcremes, Salben, Hüllsubstanz medizinischer Kapseln
Alginat	Gelee, Marmelade, Pudding, Fruchtsäfte, Limonaden, Speiseeis, Joghurtzubereitung, Bonbonfüllung, Salatsaucen, Wursthüllen, Diät- und Schlankheitsnahrung, Schlagsahne, Spaghetti, Suppen, Mayonnaise, Margarine	Alginatkunstseide, Textildruckfarben, Kunstfaser, Baumaterial, Leim, Mittel in der Fotoindustrie, Schaumgummi, Füllmaterial, Veredelung von Papier, Bindemittel in Braunkohlenbriketts, cellophanartige Filme und Folien, Sprengstoffe	Zahnpasta, Zahnheilkunde, Hautcremes, Lotions, Salben, Hüllsubstanz medizinischer Kapseln, Trenngele in der analytischen Chemie, chirurgische Nähfäden

Andere Algen können aufgrund ihrer Sorptionseigenschaft als Abwasserverwerter oder als Ionenaustauscher in der Industrie (Metallsorbens) verwendet werden (FEHRMANN *et al.*, 1993). Von großem Vorteil ist in diesem Zusammenhang die Verwendung der Gattung *Laminaria*. POHL (1991) beschreibt neben der Nutzung als Nahrungsprodukt die Gewinnung von Alginaten aus Lamina-rien, wobei das daraus entstandene Abfallprodukt, die extrahierte Biomasse, zur Schwermetall-Adsorption (Cd, Cu, Zn, Pb) genutzt werden kann.

Eine ähnliche Anwendung, Abfallstoffe aus der Wassersäule zu adsorbieren, könnten Makroalgen in einer Polykultur einnehmen, die die Reinigung der durch Fischeaquakulturen belasteten Gewässern durchführen. So könnten einige Algen sich hervorragend als Bioindikator für die Verschmutzung der Gewässer und für das Auftreten von Krankheiten eignen. Jedoch reichen für Indikatorzwecke geringe Mengen an Algen aus und rechtfertigen keine Algenfarm.

2.1.2 Kandidaten

Es werden hier nur Arten vorgestellt, die allgemein als Nahrungsmittel, Nahrungsergänzungsmittel oder als Produktionsgut für die Gewinnung von Phykokolloiden bzw. Metallsorbentien dienen und einen erschlossenen kommerziellen Markt bedienen könnten. Weiterhin müssen sie gewissen Voraussetzungen für die Zucht entsprechen. Dazu gehört, daß sie den abiotischen Bedingungen vor Ort, wie starke Strömung und hohe Wellen, standhalten. Die zu verwendenden Algen sollten eine hohe Wachstumsrate haben und eine ausreichende Größe erreichen, damit ein gutes wirtschaftliches Verhältnis zwischen genutzter Aquakulturfläche und Erntegut entsteht. Letztlich sollte durch den Einsatz der verwendeten Kandidaten keine Gefahr der Florenverfälschung bestehen, so daß auf in der Nordsee nicht-heimische Arten hier nicht eingegangen wird.

Die folgenden Algen entsprechen größtenteils den oben genannten Anforderungen und könnten in Mono- oder Polykultur gezüchtet werden.

1. Chlorophyta: Grünalgen haben keine Algeninhaltsstoffe, die wirtschaftlich von großer Bedeutung wären bzw. besteht für solche Stoffgruppen nur ein geringer Markt. Unter den Chlorophyceen ist lediglich die Art *Ulva lactuca* (Ulvales) für die Zucht geeignet. Sie dient hauptsächlich der Ernährung und wird unbehandelt als Nahrungsmittel verwendet. Weiterhin wird sie als Abwasserverwerter eingesetzt.
2. Phaeophyta: Braunalgen sind mit verschiedenen kultivierbaren Arten in der Nordsee vertreten. Jedoch entsprechen nicht alle Algen den oben genannten erforderlichen Bedingungen, so daß z. B. *Laminaria hyperborea* und *Fucus spp.* für die Zucht aufgrund der niedrigen Wachstumsrate nicht geeignet sind. Um so eher entsprechen die raschwachsenden Arten *L. digitata* und *L. saccharina* den örtlichen Bedingungen. Letztere ist nicht ganz so widerstandsfähig gegenüber starken mechanischen Kräften wie *L. digitata*, jedoch hat sie eine höhere Wachstumsrate und wächst zu einer Länge von bis zu 4 m heran. Beide kommen nur in Bereichen vor, in denen die Wassertemperatur von 20°C nicht überschritten wird. Diese Temperaturen werden im Nordseeraum nicht erreicht. Überdies können beide Arten zur Gewinnung der Alginat verwendet werden. Nach LÜNING (1985) ist die Zucht von *Laminaria* in der Nordsee aufgrund des guten Nährstoffangebotes gut möglich. Nach KIRST (1991) gehören Laminaria-Arten zu den am raschesten wachsenden Pflanzen der Welt. Ihre enorme Produktivität erlaubt einen zuverlässigen Nachschub an Rohstoffen.
3. Rhodophyta: Von denen in der Nordsee heimischen Rotalgenarten sind, ebenso wie bei den Phaeophyta, nicht alle für die Aquakultur geeignet bzw. erfüllen nicht die Anforderungen, wie sie auf exponierten Flächen abverlangt werden. *Porphyra umbilicalis* ist aufgrund ihrer Wachstumsrate ein guter Kandidat für die Offshore-Aquakultur. Obwohl *Chondrus crispus* eine eher mittelmäßige Wachstumsrate zeigt, besteht eine starke Nachfrage für diese Alge als Nahrungsmittel und Carrageenlieferant, so daß sie trotzdem für die Zucht geeignet erscheint. *Mastocarpus stellatus* ist seit einigen Jahren ebenfalls marktfähig und könnte, ähnlich wie *C. crispus*, in einer Pilotstudie eingesetzt werden. *Palmaria palmata* ist für eine Offshore-Aquakultur sehr

gut geeignet. Sie hat als Nahrungsmittelalge wirtschaftlich große Potentiale und hätte einen schon vorhandenen Markt. Bedenklich ist in diesem Zusammenhang allerdings, daß sie bei Helgoland (drei Windparks sind nördlich von Helgoland geplant) nicht heimisch ist, wohl aber im nördlichen Nordseebereich (z. B. in Nordjütland und Südnorwegen). Die Ausbreitung dieser Alge in der deutschen Nordsee ist auf das fehlende Hartsubstrat zurückzuführen (LÜNING, pers. Komm.). Fraglich ist jedoch, ob sich eine Florenverfälschung einschleicht, wenn sie im Offshore-Bereich kultiviert werden würde (im Nordatlantik ist sie wieder heimisch). Nach LÜNING bestehen jedoch bei der Einführung bzw. dem Besatz dieser Rotalge keine ökologischen Probleme. Die Auswirkungen durch einen solchen Einsatz sind klar einzugrenzen, da ein geeignetes Substrat allein durch die Kulturanlage geboten würde und so eine Ausbreitung in der deutschen Bucht nicht möglich wäre. Der Einsatz dieser Alge ist als rentabel einzustufen.

Das Angebot an Algen-Kandidaten ist groß, so daß eine sorgfältige und gezielte Auswahl getroffen werden muß. Später kann dann je nach Projektvorhaben das Kultivierungsprogramm auf weitere Algenarten im Offshore-Bereich ausgeweitet werden.

Nach LÜNING (pers. Komm.) sollten zunächst zwei Algen eingesetzt werden, eine Braunalge und eine Rotalge: *Laminaria saccharina* (Abb. 27) und *Palmaria palmata* (Abb. 28). *Laminaria* eignet sich für den Einsatz als Nahrungsmittel und ist außerdem als Metallsorbens verwendbar sowie für die Gewinnung von Alginaten. Die vitaminreiche *Palmaria* ist darüber hinaus seit über 1.000 Jahren als Nahrungsmittel bekannt und heutzutage sehr gefragt (GUIRY & BLUNDEN, 1991). Beide Algen haben einen schon vorhandenen Absatzmarkt und haben noch weitere wirtschaftliche Potentiale.

2.1.3 Aquakultur mit Makroalgen

2.1.3.1 *Laminaria*



Abb. 27 *Laminaria saccharina*
(Phaeophyta). UBC (2001)

Es gibt unterschiedliche Kultivierungsmethoden, um Laminarien Offshore zu züchten. Eine der älteren Methoden ist die Zwei-Jahres-Kultur, bei der von der Saat bis zur Ernte, die in der Regel nach 20 Monaten stattfindet (Oktober des ersten Jahres bis Juli/August des dritten Jahres), die Kulturen den natürlichen Umweltbedingungen überlassen werden und daher im Vergleich mit den Wildbeständen ähnliche gute Qualitätsmerkmale aufweisen. Nachteilig ist trotz des geringen Arbeitsaufwandes die lange Wachstumsdauer, die das Produkt im Vergleich zu Laminarien aus anderen Kulturtechniken sehr teuer macht (OHNO, 1993).

Bei einer anderen Methode werden die Laminarien, die entweder aus der eigenen Zucht oder aus Wildbeständen bestehen, auf Seile verpflanzt. Diese Art der Kulturtechnik wird meistens zwischen Winter und Frühling begonnen, da zu dieser Zeit das Meristem, das das Wachstum des Haftorgans steuert, sehr aktiv ist. Das Anwachsen dauert bis zu zwei Wochen, danach können die Leinen in den Offshore-Bereich ausgebracht werden (OHNO, 1993). Dort verbleiben sie bis zu sechs Monate.

Die gängigste Methode, die ähnlich gute Ergebnisse wie bei der Zwei-Jahres-Kultur hervorbringen, wurde von HASEGAWA (1971) beschrieben. Hier wird schon im August mit der Zoosporenproduktion begonnen; $1\frac{1}{2}$ -3 Monate eher, als bei herkömmlichen Kulturtechniken (KAWASHIMA, 1984). Anschließend werden die Kulturen ins Meer ausgebracht. Nachfolgend fördert das saisonbedingte

Absinken der Wassertemperatur gute Wachstumsraten. Hierbei darf eine Temperatur von 18°C nicht überschritten werden. Unter diesen Bedingungen wachsen die Jungalgen noch dicht aneinander. Sie werden dann im Winter ausgedünnt und mit höchstens 12-15 Algen je Meter Kulturleine wieder an der Leine mit Hilfe von Bändern befestigt, bis sich die Haftorgane der Laminarien selber verankern. Die kultivierten Laminarien produzieren im Gegensatz zu Wildbeständen zwei mal im Jahr Zoosporangien, die wiederum für die Kulturen verwendet werden können (OHNO, 1993). Schon nach einem Jahr können die Algen geerntet werden.

Eine völlig neue Methode, schnell und zu jeder Zeit an sorusbildende Algen zu gelangen ist eine von BUCHHOLZ & LÜNING (1999) entwickelte Methode, bei der Gewebestücke, die normalerweise durch einen Hemmstoff an ihrer Bildung von Sporophyten gehindert werden (LÜNING *et al.*, 2000), aus dem Thallus einer *Laminaria* herausgestanzt werden. Diese scheibchenartigen Algenstücke sind von dem aus dem Meristem stammenden Hemmstoff isoliert und können einen Sorus ausbilden.

Als Kulturtechnik für die Zucht von *Laminaria saccharina* können drei Systeme genutzt werden: (1) eine Langleine, (2) ein Offshore-Ring oder (3) ein abtauchbarer Unterwasserkäfig (SOSSEC [BUCK & SMETACEK; in Vorbereitung], siehe Teil II, Kap. 3.4).



Abb. 28 *Palmaria palmata* (Rhodophyta). Foto: KLAUS LÜNING

2.1.3.2 *Palmaria*

Gegenüber der unproblematischen Gewinnung von Jungalgen bei der Kultur von *Laminarien* ist ein Nachschub bei *Palmaria*-Jungalgen schwieriger. In dem komplizierten Lebenszyklus dieser Alge sind die weiblichen *Palmaria*-Pflanzen mikroskopisch klein und bilden gegenüber anderen Rotalgen keine Karposporen aus. Der Thallus der

männlichen Pflanze bzw. des Tetrasporophyten ist groß (VAN DER MEER & TODD, 1980). Obgleich die Tetrasporophyten einen großen Anteil in einer *Palmaria*-Population einnehmen, sind die Hälfte der Sporen weiblich, die sich unter Kulturbedingungen in Tanksystemen schlecht weiter entwickeln können (GUIRY, 1974). Folglich wachsen unter isolierten Kulturbedingungen nur männliche *Palmaria* aus Sporen heran. In Wildbeständen werden weibliche Sporen durch männliche Samenzellen aus älteren Generationen befruchtet, so daß sich Tetrasporophytenthalli ausbilden können.

Ein Problem ist die hohe Verlustrate der Sporen unter Kulturbedingungen. Da *Palmaria* eine mehrjährige Pflanze ist, entstehen jedes Jahr neue Phylloide, die dann für Kulturzwecke verwendet werden können, daneben mag sich die Anzucht aus Tetrasporen auch als Routinemethode entwickeln (LÜNING, pers. Komm.).

Als Kulturtechnik für die Zucht von *Palmaria palmata* können drei Systeme genutzt werden: (1) eine Langleine, (2) ein Offshore-Ring oder (3) ein abtauchbarer Unterwasserkäfig (SOSSEC [BUCK & SMETACEK; in Vorbereitung], siehe Teil II, Kap. 3.4).

2.1.3.3 Aufwand und Pflege der Makroalgenkultur

Der Pflegeaufwand konzentriert sich bei der Kultur von *Laminarien* und *Palmaria* größtenteils auf die Vorzüchtung der auszusetzenden Jungalgen und auf das Ausbringen bzw. Ernten der Algen. Während des eigentlichen Algenwachstums besteht der Großteil der Arbeit nur in der Kontrolle der Anlage bzw. der eventuellen mechanischen Entfernung von Fouling auf den Kulturleinen. Letztere Aktivität ist allerdings noch unklar, da man die Intensität des Bewuchses in den geplanten Windparkgebieten noch nicht kennt.

An der Wattenmeerstation (AWI) in List auf Sylt werden seit Jahren Jungalgen der vorgeschlagenen Algenarten gezüchtet. Dabei werden die Sporophyten in einem geeigneten Medium in Kulturtanks gehalten. In diesen Tanks wird die

gesamte Biomasse durch die Einleitung von Luft in Bewegung gebracht, so daß sich die Algen in einer ständigen Rotation befinden. So wird garantiert, daß jede Alge für einen gewissen Zeitraum Sonnenlicht erhält, wenn sie während der Drehbewegung die Oberfläche des Tanks erreicht. In diesem System wachsen die Algen schnell heran und erreichen nach kurzer Zeit eine Größe, bei der sie in größere Tanks umgesetzt werden müssen. Nachteilig bei dieser Methode ist im Falle der *Laminaria* das Ausbleiben der Haftorganbildung, so daß eine spätere Ansiedlung auf einer Leine nicht mehr möglich ist oder nur mit sehr arbeitsaufwendigen Methoden mit Seilen auf den Kulturleinen verknotet bzw. in die Kulturleinen eingeflochten werden können.

Eine weitere klassische Methode ist die Anheftung der Jungalgen auf einer Kulturleine. Dieser Vorgang kann einige Tage dauern und verlängert sich um weitere vier Wochen, um nach der Ansiedlung auf dem angebotenen Substrat die Vertrossung voll auszubilden.

Bei *Palmaria* besteht die Möglichkeit, daß sich die Sporen zuvor auf den Kulturleinen ansiedeln. Eine weitere, arbeitsaufwendigere Methode besteht darin, die Basis der Jungalge in die Kulturleine einzuarbeiten, indem das Tauwerk aufgespleißt wird, der Thallus vorsichtig durch die sich gebildete Öffnung gezogen wird und das Tau wieder geschlossen oder zugezogen wird (WAALAND, 1983). Diese Methode wird erfolgreich in Algenkulturen vor der Isle of Man angewandt.

Für das Ausbringen der Jungalgen eignet sich am besten der Monat März, da von April bis August die besten Wachstumsraten erzielt werden. Außerdem wird die Wachstumsrate der *Laminaria* durch eine innere Jahresuhr gesteuert und reduziert sich beträchtlich während der Wintermonate. Weiterhin ist die See zu diesem Zeitpunkt weniger stürmisch, wodurch die Gefahr des Abreißen der Alge vom Substrat vermindert wird.

Nach einem $1\frac{1}{2}$ Jahr erreichen die Algen eine marktfähige Größe und können geerntet werden.

2.2 Muscheln

2.2.1 Verwendung

Muscheln finden in vielen Bereichen der verarbeitenden Nahrungsmittelindustrie, in Restaurants und als rohe Speise Anwendung. Jedoch handelt es sich hierbei eher um ein Luxusgut, als um ein Grundnahrungsmittel.

Ferner eignen sich Miesmuscheln als Indikatororganismen für Monitoringprogramme bei der Untersuchung von Schadstoffen bzw. zur Schadstoffakkumulation (FISCHER, 1983; TER JUNG, 1992; BORCHARDT, pers. Komm).

2.2.2 Kandidaten

In Deutschland besteht eine kommerzielle Nachfrage nach zwei Muschelarten (Abb. 29 und 30). Eine von diesen ist die Miesmuschel, *Mytilus edulis*. Sie hat eine breite ökologische Potenz gegenüber den Umweltfaktoren Salinität, Temperatur und Druck, was ihr die Besiedlung weiter Küstenbereiche erlaubt (SEED & SUCHANEK, 1992). In der salzärmeren Ostsee ist sie sogar vom Kattegat bis in den Bottnischen Meerbusen hinein nachweisbar (JAGNOW & GOSSELCK, 1987). Sie kommt vom Eulitoral bis in Tiefen von 30 m vor (KAUTSKY, 1982).

Die zweite auf dem Speisezettel deutscher Restaurants gefragte Art ist eine Auster. Sowohl die Europäische als auch die Pazifische Auster (*Ostrea edulis* bzw. *Crassostrea gigas*) sind in der Nordsee beheimatet. Letztere ist über Aquakulturanlagen in der Oosterschelde und dem Limfjord in die Nordsee bzw. in das Wattenmeer der Ostfriesischen Inseln verdriftet worden und wird seit 1998 regelmäßig nachgewiesen (WEHRMANN *et al.*, 2000). Sie zeigt sich bezüglich des Umweltfaktors Temperatur gegenüber *Ostrea* als unempfindlicher (TOURNAY, 1997) und wird daher hier als Kandidat vorgeschlagen.

Weiterhin kommen in der Nordsee noch andere genießbare Muscheln vor, wie z. B. die Herzmuschel (*Cerastoderma edule*). Jedoch ist in manchen Gebieten Deutschlands die Zucht von Muschelarten außer den oben genannten Arten

verboten (siehe Teil II, Kap. 4.1.2.1), so daß sie nachfolgend nicht behandelt werden.

2.2.3 Aquakultur mit Muscheln

2.2.3.1 Miesmuscheln

Seit 120 Jahren wird in Holland die Bodenkultur-Technik (On-Bottom Culture) für die Zucht von *Mytilus* angewendet (HICKMAN, 1992). In Deutschland wird diese Technik seit dem frühen 20. Jahrhundert (seit 1924) angewandt (KLEINSTEUBER & WILL, 1988). Die zuvor in Konglomeraten im Wattsand gezüchteten Muscheln müssen nach der Ernte für ca. 2 Wochen gewässert werden, um den Sandgehalt in der Muschel bzw. die kranken und toten Miesmuscheln zu entfernen. Erst dann stehen sie dem Verkauf zur Verfügung.

Neuere Methoden sind die Off-Bottom-Culture-Techniken. Hier wird der zur



Abb. 29 Die Miesmuschel *Mytilus edulis*.
IOS (2001)

Verfügung stehende Raum dreidimensional ausgenutzt. Das heißt, daß neben der Kulturfläche auf dem Boden zusätzlich die gesamte Wassersäule in vertikaler Ausrichtung genutzt werden kann. Trägersysteme sind Pfosten, Pfähle, Netze, Flöße oder Leinen. Die Pfosten und Pfähle werden in Reihe gestellt und die Muscheln daran befestigt.

Geeignete Kulturmethoden der Off-Bottom-Culture sind Hänge- oder Schwimmkulturen, die mit Auftriebskörpern in einer bestimmten Wassertiefe gehalten und an ihren Enden verankert werden. Die gängigste Methode ist neben der Floß- die Langleinenkultur. Beide werden für den Offshore-Park empfohlen, da sie einfach konstruiert und leicht bedienbar sind. Für die Muschel-

kultur wird hier eine neue Variante empfohlen, bei der die Kulturleinen in einem Käfig aufgehängt werden (siehe Teil II, Kap. 3.4.4). Vorteil bei letzterer Variante ist die leichte Bedienbarkeit der Kulturanlage und die Möglichkeit für den Betreiber, eine Polykultur aufzubauen sowie eine enorme Menge an Besatz pro Kubikmeter Anlage zu züchten.

Alle Kulturleinen hängen in einer klar definierten Tiefe unterhalb der Wasseroberfläche, die ein Trockenfallen der Muscheln verhindert. Dadurch werden in der Regel bessere Wachstumsraten erzielt (LOO & ROSENBERG, 1983). Weiterhin wird die Prädation von Vögeln verringert und der Aufwuchs von Algen reduziert. Durch das „freie Schweben“ wird die Primärproduktion des die Kulturen umgebenden Wassers am effektivsten ausgenutzt. Der Zeitraum der Überflutung stellt neben dem erhöhten Nahrungsangebot auch den Zeitraum dar, in dem physikalische Reize wirken können bzw. ausbleiben (siehe Beurteilung). Zusätzlich sind die abgesenkten Kulturen der Langleine vor dem Zugriff Unbefugter und gegenüber driftendem Eis geschützt.

Bei den Off-Bottom-Kulturen ist die Anheftung der Muschel an das Substrat ein wichtiger Aspekt. Mit dem Byssusapparat besitzt die Muschel eine geeignete Methode zur Befestigung, die stabil, schnell einsatzfähig und modifizierbar ist (YONGE, 1949). Durch diese Lebensweise kann die Muschel den schwer besiedelbaren und daher siedlungsschwachen Lebensraum der Wattoberflächen und anderen Substraten erschließen und schafft dadurch ökologische Strukturen, die eine Lebensraumgrundlage für andere Organismen darstellen. So kommt dem Byssus in dieser Lebensgemeinschaft als das alles zusammenhaltende Element eine fundamentale Bedeutung zu (KAHLE, 1998). Eine Schwächung der Muschel durch Veränderung der Umweltfaktoren kann zu einer Abnahme der Festigkeit des Byssus bzw. zur Aufgabe der Vertrossung führen, was automatisch den Verlust einiger Kulturorganismen bedeuten kann. Daher müssen die Umweltbedingungen vor Ort mit der ökologischen Potenz der Miesmuschel vereinbar sein.

2.2.3.2 Austern

Nach etlichen Fehlschlägen in der Zucht mit Austern begann man vor einigen Jahrzehnten erneut mit einer Austernkultur in Deutschland. Dabei hat sich die eurytherme *Crassostrea* gegenüber *Ostrea* als vorteilhafter bewiesen und wird seit 1984 als Zuchtorganismus bei der Firma DITTMAYER auf Sylt (Sylter Royal) mit Erfolg kultiviert. Austern können ohne Angebot eines geeigneten Substrats nur in Käfigen kultiviert werden. Ihnen fehlt der Byssusapparat, wie ihn *Mytilus* hat, so daß sie sich über das Anwachsen ihrer Kalkschale verankern. Dafür brauchen Austern ein Hartsubstrat, auf dem sie festwachsen können. Viele



Abb. 30 Die pazifische Auster *Crassostrea gigas* (offen). IOS (2001)

Kulturtechniken halten einzelne Austernkultureinheiten in ständiger Bewegung, um das Zusammenwachsen der Austern untereinander zu verhindern. Austernkulturen können sehr arbeitsaufwendig sein, wenn sie in Tanks an Land gezüchtet werden.

In Asien werden Muschelschalen oder kleine Tonscheiben als Hartsubstrat zur Verfügung gestellt, auf die sich die Austernlarven ansiedeln. Später werden diese Schalen in Leinen verknotet und an eine Longline gehängt (THOMSON, 1997). Dieser Vorgang ist allerdings sehr mühselig und garantiert kein einwandfreies Austernwachstum ohne Verklumpung von Austern. Solche Austernkulturen dienen meist nur der industriellen Austernfleischverarbeitung. Eine bessere Kulturmethode, bei der sowohl eine schöne Schale als auch qualitativ gutes Fleisch produziert werden kann, ist die Verwendung eines „Austernkäfigs“. Dieser ist wie ein Setzkasten mit Wänden zu allen Seiten in viele kleine Fächer unterteilt und ein- bzw. mehrlagig (meist 1 x 1 x 0.1 m). In jedes dieser Fächer wird eine junge Auster plziert und der dann gefüllte Käfig an eine Langleine gehängt. Eine untergetauchte Longline bietet sich bei einer extensiven Kultur an und verhindert die Probleme (z. B. Fouling, Prädation) oberflächennaher Leinen (THOMSON, 1996).

Nach JOHANNES (pers. Komm.) eignet sich auch eine mit Substrat gefüllte Trommel, in deren Innerem die Austern wachsen. So werden die Organismen so gut wie möglich auseinander gehalten. Da aber trotzdem ein Kontakt unvermeidbar ist, wird die Tonne in regelmäßigen Abständen in Bewegung gehalten. Dieser Vorgang könnte an den geplanten Offshore-Parks durch die Gezeitenströmung angetrieben werden. Eine abgeänderte Methode dieser Art wird von der Firma DITTMAYER durchgeführt. Anstatt der rotierenden Trommel werden Maschensäcke verwendet, die auf Gestellen bzw. Tischen liegen und im Eulitoral aufgestellt sind. Die Säcke werden dann von Menschenhand in regelmäßigen Abständen gewendet, um das Zusammenwachsen zu verhindern.

2.2.3.3 Aufwand und Pflege der Miesmuschelkultur

Man kann den Arbeitsaufwand von Muschelkulturen in drei Hauptarbeitsbereiche unterteilen: (1) das Sammeln und Ausbringen der Saat, (2) die Phase des Abwachsens und (3) die Erntephase.

Beim Sammeln der Saat kann auf die bestehenden Wildmuschelbestände zurückgegriffen werden, die abgeerntet werden können. Normalerweise wird für die Kultur Muschelbrut aus Flächen mit hohem Larvenfall entnommen und auf Kulturflächen mit geeigneteren Umweltbedingungen (Wellenmechanik) bzw. besseren Wachstumsbedingungen (Nahrungsangebot) transferiert. Der gefangene Miesmuschelbesatz stammt aus befischten Wildmuschelbeständen, die nicht das gesetzliche Mindestmaß erreichen oder aufgrund des geringen Fleischgehaltes nicht vermarktet werden können (RUTH, 1991). Zum Fangzeitpunkt haben die Muscheln eine etwa kaffeebohnen große Gestalt und werden dann über den lizenzierten Kulturflächen vom Boot aus vorsichtig auf das Sediment gespült. Die Muscheln verdriften dabei kaum und können metergenau plaziert werden (EWALDSEN, pers. Komm.).

Eine weitere Möglichkeit ist das „Einfangen“ der Muschellarven. Muschellarven zeigen zwar eine eigene, aktive Schwimmbewegungen (MILEIKOVSKY, 1973), jedoch unterliegen sie hauptsächlich einer passiven Verdriftung durch Strö-

mung, Gezeitenwechsel und windinduzierten Umschichtungen des Wasserkörpers (HARVEY *et al.*, 1995). Muscheln haben eine geringe Substratspezifität, was die verschieden möglichen Kulturmethode unterstützen. Das Ausbringen von Larvenkollektoren ist eine geeignete und kostengünstige Methode, Muschelbrut zu erhalten. Hierbei handelt es sich um eine bewährte Methode, wie sie auch WALTER *et al.* (in Vorbereitung) in der Außenjade erprobt haben. Leinen, die den späteren Kulturleinen ähneln, werden an Laichplätzen positioniert und dienen als „zufälliger“ Ansiedlungsort der Pediveligerlarven. Bei Erreichen einer Größe von 8-12 mm werden sie dann auf die Kulturleine umgesiedelt. Um größte Besatzdichten und hohe Überlebensraten zu garantieren werden üblicherweise 500-1.500 g Saatmuscheln pro Meter Kulturleine verwendet.

Eine weitere Möglichkeit wäre die künstliche Zucht von Muschellarven in Zirkulations- oder Durchlaufsystemen an Land. Spermatozoen und Oocytenpakete, die rasch zerfallen, werden in die Wassersäule ausgestoßen und befruchten sich dort. Dieser Vorgang kann mehrmals im Jahr stattfinden, wobei die Faktoren, die diesen Auswurf steuern, noch unbekannt sind. In Kulturbecken läßt sich die Gametenabgabe von Saatmuscheln durch Temperaturerhöhung induzieren, jedoch ist diese Methode teurer und aufwendig (WALTER, pers. Komm.). Die Firma SEUS in Wilhelmshaven plant die Bereitstellung von Miesmuschellarven für die kommerzielle Aquakultur und hat diesbezüglich zwei große 1.800 L Container für eine induzierte Larvenabgabe aufgestellt. Einer der beiden Tanks soll für die Zucht der Larven, der andere als Nahrungsreservoir für die Saatmuscheln bereitstehen. Der Brutfall soll mit einer Temperaturveränderung induziert werden, so daß die Muscheln gezielt in einem der beiden Tanks ablaichen können. Elterntiere für das Ablaichen standen zum Zeitpunkt der Inspektion dieser Anlage (Juni 2001) nicht zur Verfügung. Ferner fehlt es noch an einer geeigneten Wasserwiederaufbereitung. Nach eigener Beobachtung scheint dieser Ansatz zwar vielversprechend zu sein, jedoch würde die Bereitstellung von genügend Jungmuscheln für ein Offshore-Projekt derzeit nicht ausreichen. Daher sollte für den Erwerb von Muschellarven vorerst auf die Wahl von Kollektoren zurückgegriffen werden.

Die Abwachsphase erfordert in der Regel kaum Arbeit für den Aquakulturbetreiber. Zu den Hauptbeschäftigungen während dieser Phase zählen im allgemeinen Inspektionen der Anlage, die Sicherung der Anlage (z. B. Ausbringen von Auftriebskörpern bei Gewichtszunahme der Kulturleinen) und der Vermeidung von zu hohen Besatzdichten. In Konglomeraten haben Muscheln in Randbereichen ein höheres Gewicht und eine längere Schale als Muscheln im Zentrum eines solchen *Clusters*. Im Inneren herrscht eine größere Nahrungskonkurrenz bei gleichzeitiger geringerer Durchflutungskapazität. Bei zu hoher Besatzdichte und Aufwuchs müssen die heranwachsenden Muscheln vom Substrat entfernt werden und erneut auf einer Leine ausgebracht werden (Ausdünnen). Dafür können strumpfartige Strukturen verwendet werden, die als Ganzes über die Leine zum Halten der Muscheln gestülpt wird, bis die Vertrossung erneut eingesetzt hat.



Abb. 31 Korb, der beim Hochziehen der Ernte unter die Kulturleine gehängt wird, um abfallende Muscheln aufzufangen. Modifiziert nach BEAZ (2001)

Bei der Ernte ist je nach Größe und Länge der Kulturleinen eine unterschiedliche Ausrüstung erforderlich. 5-8 m lange bewachsene Kulturleinen können bis zu 200 kg wiegen, für deren Bergung ein Kran benötigt wird. Speziell für die Ernte von Muscheln konstruierte Boote sind mit solchem technischen Gerät ausgestattet. Um bei der Bergung des Muschelbesatzes herabfallende Organismen aufzufangen, wird ein Korb unter jede Kulturleine gespannt (Abb. 31).

Wenn Muscheln bei der Abwachsphase der ständigen Wasserüberflutung ausgesetzt sind, besteht die Möglichkeit, daß eine weichere Schale ausgebildet wird bzw. der Adduktormuskel

schwach ist. Solche Muscheln werden dann für einige Tage zwischengehältet, damit die Muschel dieses Defizit ausgleichen kann. Dieser Vorgang wird als „*hardening*“ bezeichnet und gibt der Muschelschale eine größere Festigkeit und stärkt den Adduktormuskel.

2.2.3.4 Aufwand und Pflege bei der Austernkultur

Die Produktion der erforderlichen Brut für die Austernzucht ist sehr aufwendig. Die meisten Muschelzüchter kaufen Jungmuscheln von international agierenden Brutbetrieben. Diese werden dann über die üblichen Transportwege (meist von England oder Frankreich) eingeführt und sind in der Regel schon $\frac{1}{2}$ Jahr alt (Größe ca. 1-3 cm).

Die Muscheln werden dann in die jeweiligen Käfige (Tonnen, Säcke, Tablett) verpackt und an die Langleine gehängt bzw. im Falle der Bodenkultur am Meeresboden abgestellt und verankert. In diesem Zustand verbleiben sie von Februar bis November und bedürfen keiner großen Pflegetätigkeiten. Für den Fall, daß mit extrem kalten Umweltbedingungen oder Eisdrift zu rechnen ist, werden die Austern am Ende des Jahres in die geschützten Becken an Land transferiert. In der Regel können sie aber vor Ort verbleiben, und können, wenn sie gezeitenabhängig trocken fallen, nach 3 Jahren, im ständig untergetauchten Zustand nach $2\frac{1}{2}$ Jahren, geerntet werden.

2.3 Hummer

Die *U.S. Fisheries Commission* begann Ende des 19. Jahrhunderts mit der Produktion von Hummerlarven, um den Nachschub an Hummern als Nahrungsmittel bzw. für Restocking-Projekte zu sichern, doch große Erfolge blieben aus. Auch in Europa (Norwegen, Schweden, Dänemark, Deutschland, Frankreich, Niederlande, England) wurden Hummerkulturen erprobt, blieben allerdings ähnlich erfolglos wie in den USA (BARDACH *et al.*, 1972). Nachfolgend

wird am Beispiel der Hummerzucht auf Helgoland (Biologische Anstalt Helgoland [BAH], AWI) das arbeitsintensive Verfahren näher erläutert, welches die geringen Kapazitäten an marktfähigen Hummern verdeutlicht.

In der BAH werden seit vielen Jahren Hummer gezüchtet. Die Larven stammen von eiertragenden Weibchen, die der Station von den Fischern überlassen werden. Der Hummerfang ist zwar gestattet, jedoch gibt es gesetzliche Auflagen und die Übereinkunft, trüchtige Weibchen für Zuchtzwecke abzugeben. Da die Hummerfischer auch aus Eigeninteresse handeln, ist so der Nachschub an Eiern gesichert.

Die Hummerzucht ist sehr arbeitsintensiv und erfordert einen mehrjährigen Aufwand (JANKE, pers. Komm.). Die Embryonalentwicklung dauert von der Paarung an 1-2 Jahre. Nach dem Schlüpfen beginnt die pelagische Larvalphase, die sich über vier Stadien weiter bis zum Junghummer entwickelt. Dieser Prozeß kann je nach Temperatur unterschiedlich lange dauern: bei 10°C ca. 100 Tage, bei 18°C ca. 4 Wochen (MEHRTENS, pers. Komm.). Bei höheren Temperaturen können sich die Tiere zwei mal pro Jahr häuten (BARDACH *et al.*, 1972). Daher wird in der Station auf Helgoland das benutzte Wasser erwärmt, was einen hohen technischen Einsatz und weitere Kosten erfordert.

Bei Erreichen des Stadiums IV haben die Tiere eine Größe von etwa 8 mm (Carapax-Länge) und müssen einzeln gehalten werden, da sie kannibalistisch sind und sich gegenseitig anfallen und verletzen könnten (in der freien Natur gehen sie sich aus dem Weg). Folglich braucht jeder Hummer ein eigenes Gehege mit Versteckmöglichkeiten. Größere Hummer könnten gemeinsam in Gehegen gehalten werden, wenn man ihre Scheren zubindet. Während der Häutungsphase müssen die Hummer allerdings wieder einzeln gehalten werden.

Bei der geringen Wachstumsrate erreichen die Hummer nach ca. 4-5 Jahren (temperaturabhängig) ihre Mindestgröße und wiegen etwa 500 g. Zu diesem Zeitpunkt würden sie auf Helgoland einen Marktwert von etwa 50 DM haben (MEHRTENS, pers. Komm.). Ein Hummer aus Wildbeständen erreicht seine Marktreife erst nach 10 Jahren, was wahrscheinlich mit den geringen Temperaturen in der Nordsee zusammenhängt (JANKE, pers. Komm.).

Die adulten Hummer werden im Sommer 2-3 mal wöchentlich mit Fisch, Garnelen oder Strandkrabben gefüttert, im Winter nur 1-2 mal in der Woche. Juvenile Hummer erhalten 2 mal wöchentlich Asseln. BARDACH *et al.* (1972) schlägt im Sommer eine tägliche, im Winter eine wöchentliche Fütterung vor. So werden zwar pro kg Hummerfleisch 8 kg Futter benötigt, dafür ist der Hummer aber schon nach 4 Jahren marktfähig. Extra entwickelte Futterpellets reduzieren die Futtermenge und sind erfolgreicher. Da Hummer nachtaktiv sind, können Futterreste am Tage entfernt werden.

Weiterhin brauchen die Hummer in den Anlagen an Land ein großes Durchlaufsystem mit hoher Durchflußrate. Das Wasser muß gefiltert und temperiert werden.

Nach einer gewissen Abwachsphase (in der Regel ein Jahr; Größe 1-2 cm; markiert) werden auf Helgoland jedoch die Hummer wieder ins Meer entlassen. Es handelt sich hierbei also um ein reines Restocking-Programm.

Würden die Hummer in einer Offshore-Farm in Käfigen gehalten, müßten die Hummer in regelmäßigen Abständen gefüttert werden, was die Zucht zu einer intensiven Aquakultur machen würde. In den Offshore-Parks ausgesetzte Hummer müßten am Verlassen des Gebietes gehindert werden, denn Hummer können einige Kilometer pro Nacht wandern. REISE (pers. Komm.) empfiehlt, den Hummern Schutz zu bieten, indem künstliche Unterschlupfmöglichkeiten aus Autoreifen, Wellblechdächer u.v.m. geschaffen werden. Die Firma *HYDRO-M Environnement* aus Frankreich konstruierte für das Projekt „Artificial Reefs Deployment: Offshore Wind Turbines“ künstliche Riffe. Für den Hummerunterschlupf wurde der *KHÈOPS*[®] entworfen und befindet sich in der Testphase (LEFÈVRE, pers. Komm.). Die Hummer würden durch das Angebot an künstlichem Hartsubstrat das Gelände aufgrund umliegender Weichböden nicht so schnell verlassen. Über traditionelle Techniken können dann die Hummer später wieder abgefischt werden. Die Nachfrage für Hummer ist seit Jahren ungebrochen vorhanden, das heißt, der Absatz wäre garantiert.

2.4 Fische

2.4.1 Verwendung

Kommerziell gefangene Fischarten aus der Nordsee werden nicht nur als Speisefisch vermarktet, sondern dienen auch als Industriefisch in der Produktion von Fischmehl (z.B. Hering, Sprotte, Franzosen- und Stintdorsch), von Fischöl (z.B. Sandaale, Stintdorsch), von Schweinefutter (z.B. Stichling) oder von Düngemittel (z.B. Stint) (VOBERG & BRECKLING, 1997). Wegen des geringeren Marktwertes industriell verwendeter Fischarten werden für den Einsatz in der Aquakultur an dieser Stelle nur Speisefische vorgeschlagen.

2.4.2 Kandidaten

Unter den in der Nordsee vorkommenden Speisefischen gibt es hochwertige Edelfische, wirtschaftliche nutzbare Fangfische bzw. Fische, die wegen ihres Vorkommens im Beifang vermarktet werden. Nicht alle gefangenen Fischarten sind ständige Besiedler der Nordsee. Neben den Standfischen gibt es Fische, die fast ganzjährig in der Nordsee vorkommen, und diejenigen, die Saisongäste oder Besucher der Nordsee sind.

Letztere und Irrgäste werden nicht erörtert, auch wenn die Umweltbedingungen in der Nordsee für eine mehrjährige Zucht von solchen Kandidaten zwar toleriert wird, aber als Streß angesehen werden kann (siehe Teil I, Kap. 4.2.1). Somit ist beispielsweise der Kabeljau (*Gadus morhua*) als Zuchtfisch auszuschließen. Er wäre zwar wirtschaftlich ein sehr guter Kandidat, jedoch ist er wegen seiner Wandereigenschaften ein Saisongast, der sich im Sommer aufgrund der Erwärmung der flachen Nordsee in tiefere Gewässer zurückzieht. Diese Bedingungen würden dem Kabeljau im Falle einer Zucht genommen. Ferner ist die Schwimmblase des Kabeljaus sehr empfindlich, so daß unter den zu erwartenden Wellenhöhen in den möglichen Anlagenstandorten dieser Art weitere Komplikationen wie Seekrankheit auftreten könnten (POLK, 1997).

Der Wittling (*Merlangius merlangus*) ist ebenfalls ein Saisongast. Er ist zwar wirtschaftlich als Speisefisch nutzbar, jedoch ist er aufgrund seiner Lebensweise für die Aquakultur nicht geeignet. Er bevorzugt als adultes Tier Wassertiefen von 30-60 m und entfällt somit als Kandidat.

Bei manchen Fischarten sind die Kulturerfahrungen gering oder fehlen gänzlich. Das betrifft folgende in der Nordsee heimischen oder als saisonale Wanderer vorkommenden Arten mit wirtschaftlichen Potential: Atlantische Makrele (*Scommer scombrus*), Hering (*Clupea harengus*), Roter Knurrhahn (*Trigla lucerna*), Sprotte (*Sprattus sprattus*) und Streifenbarbe (*Mullus surmelutus*).

Andere Fische sind zwar in der Nordsee heimisch, weisen aber wirtschaftlich sehr geringe Potentiale auf und gelten allgemein als aquakulturungeeignet. Solche sind z.B. die Aalmutter (*Zoarces viviparus*), die nur in geräucherter Form unter Kennern ein beliebter Speisefisch ist, oder der Seehase (*Cyclopterus limpus*), der nur genutzt wird, wenn er im Beifang auftaucht. Seine Eier dienen in Deutschland als Kavierersatz (MÜLLER, 1983).

Aufgrund der ozeanographischen Bedingungen und der Sedimenteigenschaften an den geplanten Windparks ist eine Zucht von Plattfischen auszuschließen. Generell für die Aquakultur geeignete Plattfische, die auch wirtschaftliche Potentiale besitzen, sind die Scholle (*Pleuronectes platessa*), die Seeszunge (*Solea solea*) oder der Steinbutt (*Psetta maxima*). Die Limande (*Microstomus kitt*) wäre wirtschaftlich von geringem Interesse.

Ein möglicher Kulturfisch wäre der Seelachs (*Pollachius virens*). Er ist zwar ein Saisongast, kann aber unter den vorherrschenden abiotischen Bedingungen in der Nordsee gezüchtet werden. Er ist von großem wirtschaftlichen Wert, da er nach dem Hering der beliebteste Speisefisch in Deutschland ist.

Ein weiterer Kandidat wäre der saisonal auftretende Lachs (*Salmo salar*). Dieser hat als sehr wertvoller Speise- oder Edelfisch eine große wirtschaftliche Bedeutung.

Auch die Meerforelle (*Salma trutta trutta*) ist ein gern konsumierter Speisefisch. Allerdings ist er trotzdem von geringer wirtschaftliche Bedeutung und ist hauptsächlich Fangfisch von Sportanglern.

Aufgrund der enormen Kosten, die bei dem Kauf eines untergetauchten Offshore-Käfigs anstünden, bzw. die Betreibung einer Offshore-Fischfarm nur intensiv durchgeführt werden könnte und dadurch ein enormer Aufwand und eine hohe Frequentierung zwischen der Basis an Land und dem Offshore-Park erforderlich wären, ist zu diesem Zeitpunkt und mit dem jetzigen Kenntnisstand von einer Kultur von Fischen abzuraten.

3.0 Technik und Equipment

Da die zu verwendenden Materialien unter den physikalischen Bedingungen in den geplanten Windparks gegenüber denen in geschützten Buchten stärker beansprucht werden, werden im folgenden nur Systeme vorgeschlagen (Leinen, Auftriebskörper, Verankerungen, Kulturanlagen), die unter den zu erwartenden Bedingungen als geeignet erscheinen. Da das Angebot an unterschiedlichen Materialien groß ist, wird in diesem speziellen Falle hauptsächlich auf die vorgeschlagenen Kultursysteme eingegangen.

3.1 Leinen

Bei der großen Auswahl an Leinen, sei es für den Gebrauch als Trägersystem der ganzen Anlage oder als Kulturleine, geben die lokalen Standortbedingungen die Auswahlkriterien vor. Da die zu erwartenden Strömungsgeschwindigkeiten und die Wellenmechanik in den Gebieten der Windparks beträchtliche Ausmaße erreichen können (siehe Teil II. Kap. 1.0) müssen extrem widerstandsfähige Leinen eingesetzt werden.

3.1.1 Halteleinen

Für solche Ansprüche haben sich Materialien aus Polypropylen bewährt, die bevorzugt in Offshore-Farmen im Mittelmeer eingesetzt werden (DANIOUX *et al.*, 1997). Andere Leinen, die z. B. aus Polyamid (Nylon) hergestellt sind, zeigten nach mehrjährigen Gebrauch einen höheren Verschleiß gegenüber Polypropylen. Im Vergleich von Nylon und Polyester ist letzteres UV-beständiger und hat bei gleicher Seilstärke bis zu 15 % weniger Gewicht (CHRISTENSEN, 2001). Gewöhnlich werden Durchmesser von 40-50 mm verwendet, doch geringere Durchmesser von 30 mm in Kombination mit einem im Seilzentrum verlaufenden Stahlkern sind trotz des höheren Gewichts noch widerstandsfähiger. Dieser

Leinentyp hat gegenüber herkömmlichen Leinen kein Dehnungsvermögen, was die Handhabung und Wartung erleichtert und eine Straffung oder Verdriftung des Verankerungssystems ausschließt.

Nach neuen Kenntnissen, die auf der III. OOA-Konferenz in St. Andrews/Kanada vorgestellt wurden, bietet sich der Einsatz von Röhren an (*Long Tube*), die anstelle der konventionellen Trägersysteme fungieren. Diese Röhren benötigen keine weiteren Auftriebskörper, sie können selber als Boje dienen oder nach Bedarf mit Wasser geflutet werden (SUNDE, 2000). Dabei müssen zum Auffangen der Wellenbewegung die Rohrsysteme in regelmäßigen Abständen beweglich (z. B. durch Wirbel) bzw. durchtrennt sein oder zum Schutze vor temperaturinduzierten Deformierungen auf eine Mindesttiefe abgesenkt werden (ROSENTHAL, pers. Komm).

3.1.2 Kulturleinen

Grundsätzlich ist vor jedem Einsatz eines bestimmten Leinentyps ihre Verträglichkeit auf die Zuchtorganismen zu prüfen, da einige Leinen chemisch behandelt sind bzw. toxische Inhaltsstoffe enthalten können. Jede Leine sollte vorher entweder gekocht oder für 1-3 Tage gewässert werden.

Die Kulturleinen können einen Durchmesser von 3-50 mm haben. Die Ansprüche unterscheiden sich bei der Kultur von Muscheln oder Algen. Jungalgen werden auf Leinen mit 3 mm Durchmesser angesiedelt und später auf dickere Leinen umgesetzt. Man kann auch direkt 6-8 mm Leinen verwenden, um sich den Arbeitsgang des Umsetzens zu ersparen. Dabei ist zu bedenken, daß sich Jungalgen sehr dicht auf engem Raum ansiedeln und später ausgedünnt werden müssen. LÜNING & BUCHHOLZ (1996) schlagen eine 6 mm-Leine aus Polypropylen (geflochten oder geschlagen) sowie die *Danline* vor. Diese Leinen zeigten gute Anzuchtergebnisse und bedürfen, da sie nicht gekocht werden müssen, einer nur geringen Vorbehandlung (24-stündiges Wässern).

Bei Muscheln können von Anfang an dickere Leinen verwendet werden. Nach der Ansiedlung der Muschelbrut durch die Vertrossung mit ihren Byssusfäden

müssen diese Leinen dem ständig wachsenden Gewicht standhalten. WALTER *et al.* (in Vorbereitung) untersuchte die Ansiedlung von Mytiluslarven auf verschiedenen Seilen. Dabei haben sich Kollektoren mit großer Oberfläche (z. B. durch seitlich angebrachte oder eingeflochtene Fransen) als die besseren herausgestellt. Aufgrund ihres Durchmessers sind diese Leinen schwerer zu handhaben. Dünnere Leinen bieten zwar weniger Raum für die Verrossung, lassen sich dafür aber leichter handhaben, da bei der Ernte die Muscheln mit den Kulturleinen einfach abgeschnitten werden können.

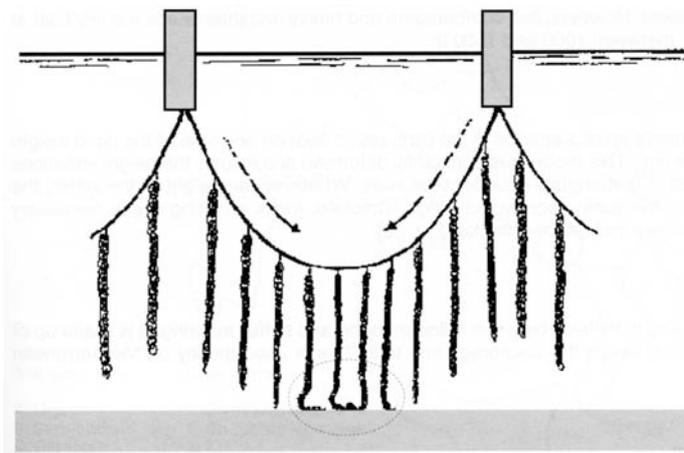


Abb. 32 Langleinenkonstruktion, bei der die Kulturleinen keinen ausreichendem Abstand zum Boden haben. Nach DANILOUX *et al.* (1997)

Bei der Zucht von Algen sollte man einen Kulturleinen-Mindestabstand von einem Meter einhalten, da sich die Algen sonst gegenseitig beschatten, was sich in geringeren Wachstumsraten widerspiegeln würde. Muschelkulturen können in einem Abstand von 50 cm gezüchtet werden. Hier ist allerdings darauf zu achten, daß die herabhän-

genden Kulturleinen sich untereinander bei den zu erwartenden hohen Strömungen nicht verknoten bzw. das untere Ende mit dem Boden in Berührung kommt (Abb. 32). Dieses Problem läßt sich durch einen gebührenden Abstand der Kulturleinen und durch Gewichte am unteren Ende vermeiden. Letzteres empfiehlt sich im übrigen auch für den Einsatz von Larvenkollektoren, da diese anfangs aufgrund ihres geringen Eigengewichts an der Wasseroberfläche treiben können.

3.2 Auftriebskörper

Wie bei den Leinen ist das Angebot an Bojen groß und es sollte ein den vorherrschenden Bedingungen angepaßtes System gewählt werden. Herkömmliche Auftriebskörper bestehen aus Stahl, Plastik oder Polystyren-Schaum und können verschiedene Formen haben. Zylindrische Bojen (*Pencil Floats*) eignen sich für den Offshore-Bereich am besten, da sie die Auf- und Abbewegung der Wellen am besten kompensieren. Oft werden Kanister oder zweckentfremdete, ausgediente Stahltonnen verwendet. Jedoch sollte das höchste Gebot bei Einsätzen im Offshore-Bereich die Sicherheit der Anlage sein, so daß alte, unfunktionierende Auftriebskörper aufgrund des möglichen Eindringens von Wasser nicht empfohlen werden.

Die Anzahl der Auftriebskörper hängt von dem zu erwartenden Gewicht der Ernte, dem Besatz und der verwendeten Kulturtechnik ab. Allgemein kann bei einer Muschelzucht von einem Erntegewicht von $10\text{-}15 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$ Kulturleine ausgegangen werden (LOSTE, pers. Komm.), bei der Zucht von Makroalgen (*Laminariales*) mit $7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$ (HOLT & DAWES, 1989). Es gilt, daß für ein Gewicht von 1 Tonne ein 250 L großer Auftriebskörper benötigt wird. Das bedeutet, daß bei der Verwendung einer 100 m langen Trägerleine, auf der in einem Abstand von jeweils 2 m etwa 5 m lange Kulturleinen herabhängen, ein Kulturgewicht von bis zu 4 Tonnen anfällt (ohne Leinen- und Rohrgewicht) und somit mindestens 1000 L Auftrieb benötigt werden.

Für besonders große Auftriebskörper werden meistens Stahlbojen verwendet. Diese rosten allerdings und geben im Falle einer Kollision nur bedingt nach und können aufreißen. Plastikbojen werden allgemein für kleinere Auftriebskörper eingesetzt. Das dafür verwendete Material muß eine große Wandstärke haben und resistent gegen UV-Strahlung sein. Trotz des höheren Preises haben sich in vielen Fällen Plastikbojen gegenüber Stahlbojen durchgesetzt, da sie eine längere Lebensdauer haben.

Auftriebskörper, die bei einer untergetauchten Kulturleine ständig unter der Wasseroberfläche schwimmen, müssen außerdem den Druckverhältnissen standhalten. Das Füllen von komprimierter Luft hat den Nachteil, daß bei einem

Leck Wasser eindringen kann. Es empfiehlt sich die Füllung der Bojen mit Polyurethan-Schaum, was zwar einen nicht geringen Mehraufwand bedeutet, aber für untergetauchte Longlines sehr empfohlen wird (DANIOUX *et al.*, 1997).

Da die Leinen zu Beginn einer Kulturperiode noch sehr leicht sind ($1.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$), ragen die Auftriebskörper anfänglich weit aus dem Wasser heraus und bieten eine große Angriffsfläche für alle Wellen- und Windkräfte (Abb. 33). Generell sollten daher die Gesamtvolumina der Auftriebskörper an die momentan vorhandenen Gewichte angepaßt sein. So dürfen die Bojen ruhig von einer Welle überrollt werden und dadurch untertauchen, so lange sie ihr Gewicht stabil halten. Allerdings entsteht dadurch ein Mehraufwand an Arbeit, da das Auftriebsvolumen wegen der Gewichtszunahme der Kulturen immer neu angepaßt werden muß.

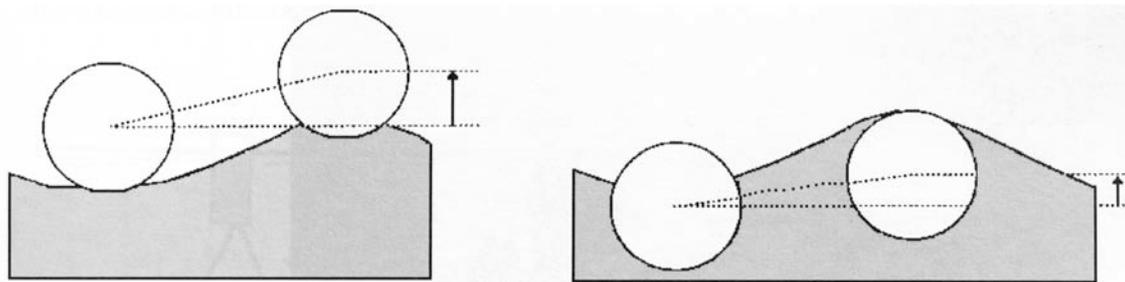


Abb. 33 Auftriebskörper, die unterschiedlich weit aus dem Wasser ragen. (a) Je weniger Gewicht an den Auftriebskörpern hängt, um so größer ist ihre Angriffsfläche für Wellenkräfte. Die daraus resultierende Auf- und Abbewegung kann zu Streß oder Verlust des Besatzes führen. (b) Hier kann die Welle über die Boje rollen, ohne sie vertikal zu bewegen. Nach DANIOUX *et al.*, 1997

3.3 Verankerung

Aufgrund der sich regelmäßig verändernden Gezeitenströmung sollte allgemein auf Anker verzichtet werden und statt dessen Ankersteine in Form großer Zementblöcke benutzt werden.

Hauptverankerungsort der Kulturfarm sollte der Pylon eines Windkrafttrades sein. Im Falle einer Langleinenkonstruktion werden neben der Befestigung an beiden

Endpunkten der Leine weitere Verankerungen benötigt, die zwischen den Enden das System auf der ganzen Länge in einer bestimmter Tiefe und am Ort halten. Ferner wird so die Verwicklung und Verknotung von Kulturen parallel verlaufender Leinen verhindert. Als Endverankerung eignet sich am besten ein Betonklotz von mehreren Tonnen Gewicht (je nach Langleinenlänge) oder zusammengeschweißte Eisenbahnwagenräder. Letztere verlieren gegenüber Betonklötzen im Medium Wasser weniger Gewicht (PLUGGE, pers. Komm.). Je größer das Gewicht, desto mehr Sicherheit durch Standorttreue ist für eine Anlage gegeben. Doch ist das Ausbringen eines schweren Ankersteins abhängig von der zur Verfügung stehenden Ausrüstung (z.B. Schiffe mit Kränen). Bei dem Ausbringen eines großen Ankersteins ist die Verwendung einer Bodenplatte als Untergrund von Vorteil, da diese das Einsinken des Steins und nachfolgende Auskolkungstendenzen verringert.

Für die Verbindung von dem Betonklotz zur Langleine bietet sich das sogenannte „Buffer-Mooring“ an. Bei dieser Technik wird ein Gewicht und ein Auftriebskörper an die Verbindungsleine gehängt. So wird die Ankerleine zunächst nach oben geführt, aber durch das Gewicht in Bodennähe gehalten (Abb. 16). Diese Art der Verankerung erlaubt das Anlegen von Schiffen, sowohl für die Pflege der Anlage, als auch für die Wartung der Windkraftanlagen. Weiterhin kann die Ankerleine trotz des zu erwartenden Tidenhubs immer auf Spannung gehalten werden.

Für die Verankerung in den Zwischenräumen werden in der Regel gewöhnliche Anker verwendet, deren Form der jeweiligen Sedimentbeschaffenheit angepaßt sein müssen. Kleinere Gewichte aus Beton können den Anker ersetzen. Es ist allerdings darauf zu achten, daß bei der Ernte die Lang- und Kulturleinen, die im Falle einer untergetauchten Konstruktion unter der Wasseroberfläche schwimmen, erst einmal nach oben gezogen werden müssen. In diesem Falle müssen die Verbindungsleinen von der Langleine zur Verankerung eigene Auftriebskörper von geringer Größe haben und leicht zu lösen sein, da sonst die Ankersteine mit angehoben werden und dadurch das System beschädigt werden kann.

3.4 Kultursysteme

Vier verschiedene Techniken scheinen für die Zucht von Makroalgen und Muscheln für den Standort Nordsee geeignet: (1) untergetauchte Langleinenkonstruktionen, (2) an der Oberfläche schwimmende bzw. leicht absenkbare Offshore-Ringe (LÜNING & BUCHHOLZ, 1996), (3) untergetauchte Austernkästen und -käfige und (4) eine absenkbare, starre Stahlkonstruktion, der sogenannte **SOSSEC** (**S**ubmersible **O**ffshore **S**hellfish and **S**eaweed **C**age; BUCK & SMETACEK, in Vorbereitung). Sämtliche aufgeführten Anlagen müssen, wenigstens zum Teil, am Meeresboden verankert und an dem Standbein der Windkraftanlage fixiert werden. Dafür müssen frühzeitig Modifikationen an den Standbeinen, wie Haken, Leitern, begehbare Plattformen und andere Befestigungen, durchgeführt werden. Daher dürfen sich technische Arbeiten an Pfeilern der Windenergieanlagen und Offshore-Aquakulturkonstruktionen nicht unabhängig voneinander entwickeln.

Alle Kulturtechniken sollen 1-2 m unter der Wasseroberfläche verankert werden. Das verhindert die Prädation durch Vögel und reduziert das Biofouling von Fremdalgen. Gleichzeitig ist die Kultur immer noch nah genug an der lichtdurchfluteten Zone, um die Photosynthese der kultivierten Algen zu garantieren. Tiefer darf die Farm nicht abgesenkt werden, da ab einer Tiefe von 3 m die Wachstumsrate mancher Makroalgen abnimmt (HOLT & DAWES, 1989).

3.4.1 Langleine

Da die Langleine weltweit eine jahrzehntelange Erprobung und einen sicheren Einsatz erfahren hat und auch den gegebenen Umständen vor Ort standhalten kann, sollte diese auf jeden Fall erprobt werden (siehe Teil I, Kap. 3.4). Die Langleine kann doppelt oder mehrfach parallel gespannt sein und bietet eine große Kulturoberfläche, so daß viele Organismen in hohen Besatzdichten gezüchtet werden können.

Als nachteilig könnte sich die große räumliche Entfernung von 800 m zwischen den einzelnen Windkraftwerken erweisen. Dieser große Abstand muß mit einer großen Anzahl an Schwimmkörpern unterschiedlicher Größe bestückt und in regelmäßigen Abständen mit Verankerungen überbrückt werden. Die Abbildungen 13 und 34 zeigen mögliche Varianten einer Langleinenanlage, die von dem bewährten japanischen Muster abgeleitet sind. Für eine kürzere Version ist eine zusätzliche Verankerung am Ende einer jeden Langleine erforderlich. Eine ähnliche, ebenso bewährte, Version wäre, wenn die Kulturleinen mit Auftriebskörpern versehen werden würden, um nach oben zu treiben, und die Longline in Bodennähe verlief (FORSTER, 1995b).

Kulturleinen, die an die Langleine verknotet werden, sollten in einem Mindestabstand von jedem Auftriebskörper positioniert werden. So wird verhindert, daß bei jedem abrupten Hochreißen der Bojen die Kulturleine zu stark beansprucht wird. Eine zu hohe Belastung kann zum Verlust des Besatzes führen (ZAHARIA, 2001).

3.4.2 Offshore-Ring

Eine abgewandte Form der empfohlenen Flöße (siehe Teil I, Kap. 1.2) wäre der Offshore-Ring, der erfolgreich für die Zucht von Algen vor Helgoland eingesetzt wurde. Er treibt an der Wasseroberfläche und ist Träger der daran herabhängenden Kulturleinen. Der äußere Ring hält das innere Netz auf Spannung und ist zugleich Auftriebskörper.

Der Offshore-Ring muß einerseits am Standbein der Windkraftanlage befestigt werden, zum anderen sind 2-4 Verankerungen am Meeresboden der dem Standbein abgewandten Seite erforderlich. Dadurch ist der Ring vor der gewaltigen Wellenmechanik und Strömung sicher.

Die bewährte Größe des Ringes beträgt 5 m im Durchmesser. Da die Befestigungsmöglichkeiten in Kombination mit den Windrädern gegenüber dem erprobten Standort vor Helgoland als vorteilhafter zu sehen sind, kann der Ringdurchmesser gegebenenfalls vergrößert werden, wenn die Ringkonstruktion an

sich und ihr Material widerstandsfähig genug sind. Dabei ist zu beachten, daß das Gewicht, daß durch den Wuchs der Algen entsteht, enorm zunehmen kann und somit bei der Wahl des zu verwendenden Materials berücksichtigt werden muß. Der daraus resultierende Mehraufwand in der Pflege wurde in Teil I, Kap. 2.1.3.3 behandelt. Eine mögliche Konstruktion des Offshore-Ringes mit einem Durchmesser von 5 m und einem Standbein zeigt Abb. 35.

3.4.3 Austernkästen und -käfige

Hierbei handelt es sich um einen Kasten, der dem *Rigid Sea Cage* der Klasse IV Käfige ähnelt, allerdings kleinere Ausmaße hat. Er kann am Boden abgestellt werden und muß dort verankert werden, wobei der Fuß des Pylons eine geeignete Verbindungsstelle darstellen würde (Abb. 36a).

Eine weitere Kulturmöglichkeit ist eine Longline mit herabhängenden Trägersystemen, wie z. B. Austernkäfige oder -kästen. Letztere können kleine tablettartige Kästen sein, die an einer Langleine herabhängen. Sie sind mit einzelnen Schubfächern ausgestattet, in denen Austern liegen und so ein Zusammenwachsen der Organismen verhindert wird (Abb. 36b).

Eine andere, in Australien gängige Methode, ist ein kleiner Käfig, der mit einem netzartigen Material gefüllt ist, daß die Austern am Ort festhält (Abb. 36c). Eine Rotation des Käfigs verhindert durch die ständige Bewegung das Zusammenwachsen der Austern. Diese Käfige können in den SOSSEC (siehe unten) eingebaut werden.

3.4.4 Stahlkonstruktion

Bei der Stahlkonstruktion (*SOSSEC*) handelt es sich um einen mehrstöckigen Gürtel mit einzelnen Ringen, der um das Standbein gelegt wird. Von dem äußeren Ring werden Trageleinen zum Ringzentrum gespannt, an denen dann Kulturleinen verknotet werden.

Diese Anlage ist noch nicht in Gebrauch und müßte noch gebaut und erprobt werden. Trotz der nicht vorhandenen Erfahrung mit dieser Anlage könnte sie gegenüber der Langleine und dem Offshore-Ring diverse Vorteile in Handhabung, Pflege und Technik besitzen. Sie erfordert keine weitere Verankerung im Meeresboden und soll so konstruiert werden, daß sie sowohl vertikal als auch rotierend um die eigene Achse, beweglich am Standbein befestigt werden kann. Sie ist bei dem Ausbringen der Algen oder Muscheln zunächst in einer geeigneten Arbeitshöhe bedienbar und kann dann in die Tiefe abgelassen bzw. später bei der Ernte wieder heraufgezogen werden. So wird bei dieser Methode die gesamte Anlage der starken oberflächennahen Hydrodynamik entzogen.

Bei der Rotation soll es drei verschiedenen Einstellungsmöglichkeiten geben. Eine volle Rotation verhindert, daß einige Algen der ständigen Exposition unterliegen. Zusätzlich könnten so die Algen aus dem Strömungsschatten hinter dem Standbein nach einer gewissen Verweildauer wieder entkommen. Der Käfig kann aber auch so eingestellt werden, daß - je nach Gezeitenströmung - ein bestimmter Teil immer der strömungszugewandten bzw. der -abgewandten Seite exponiert ist. So können Versuche durchgeführt werden, ob und wie stark sich Unterschiede in den Wachstumsraten von Organismen, die an unterschiedliche Strömung adaptiert sind, zeigen. Eine weitere Einstellmöglichkeit ist die arretierte Version.

Je nach Lichtbedingungen vor Ort und Größe des Ringes (Tiefe, Durchmesser) sollen einige Käfigringe im Stockwerkbau übereinander liegen. Für den Fall, daß die oberen Ringe die darunterliegenden beschatten, können untenliegende Ringe mit anderen Organismen, die nicht photoaktiv sind, bestückt werden, wie z. B. *Mytilus*. Ferner könnten Kulturtonnen, wie sie für die Zucht von Austern verwendet werden, in dieser Stahlkonstruktion eingebaut werden.

Der Ring kann leicht angebracht oder im hochgezogenen Zustand entfernt werden. Er besteht aus zwei Teilen, die wie eine Manschette um den Pylon gelegt werden. Abb. 37 zeigt eine Version in Kombination mit einem Windkraftwerk.

Als nachteilig kann die geringe Größe gesehen werden. Für die Kultur von *Laminaria* können bei einer Ringseitenlänge von 2.5 m ca. 26 m Trageleinen in der oberen Etage gespannt werden. Kleinere Algen können auf 100 m Kultur-

leine im oberen Bereich der Anlage gezüchtet werden. Da Laminarien eine Größe von 1 m Länge und mehr erreichen können, sollten sie nicht in zu großer Zahl neben- und untereinander gezüchtet werden, da sie sich sonst gegenseitig beschatten. Weiterhin kann nur der oberste Ring mit einer Algenkultur bestückt werden. Muscheln im unteren Stockwerk haben immer noch ähnlich viel Platz wie auf einer herkömmlichen Langleine.

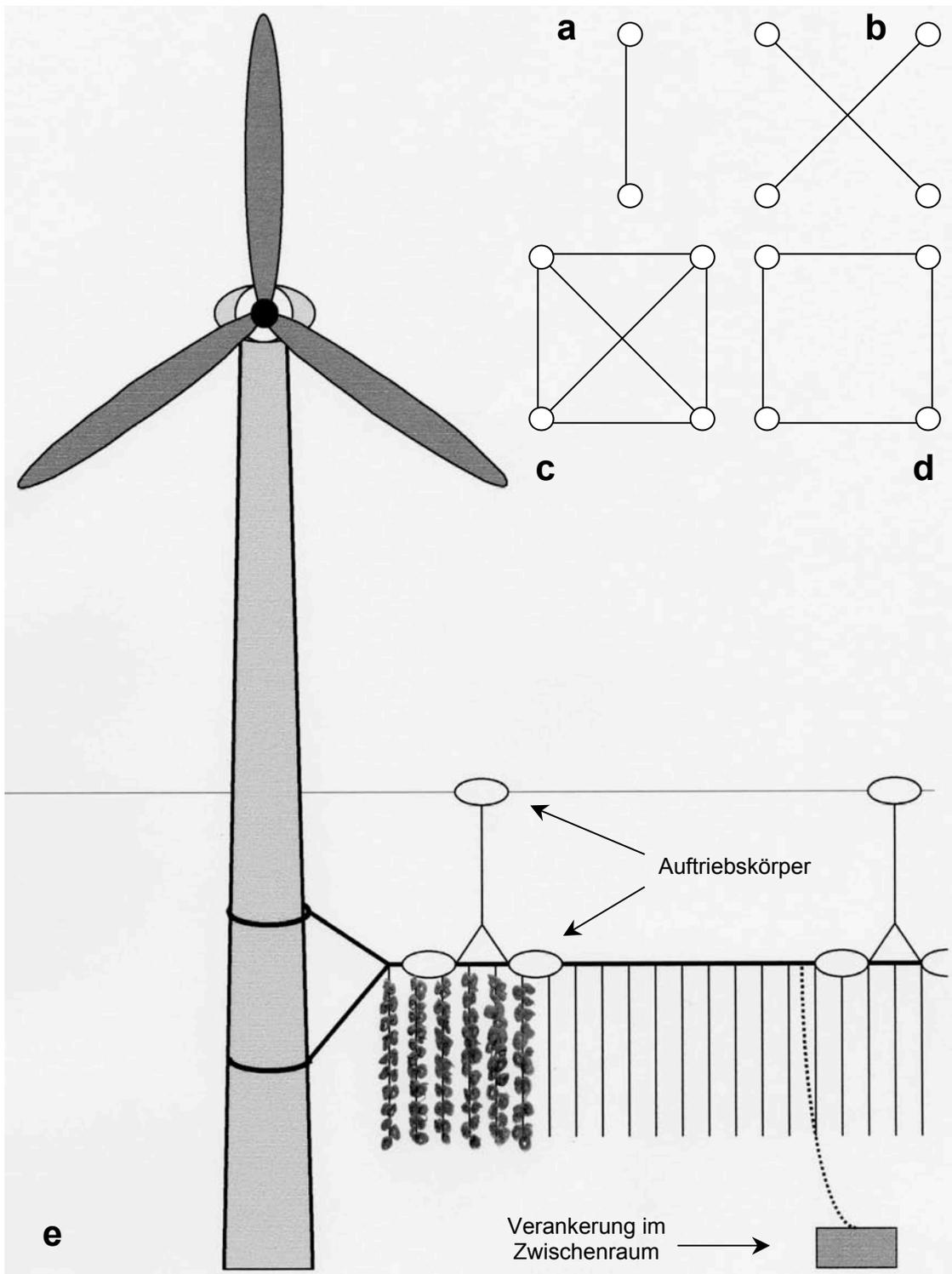


Abb. 34 (a)-(d) Langleinenkonstruktionen aus der Vogelperspektive. Jede Pylonverankerung benötigt bei einer solchen Konstruktion eine „Buffer-Mooring“, um die Wartung der WEA's zu ermöglichen. (e) Seitenansicht einer untergetauchte Langleinenkultur für Muscheln oder Algen. Der Pylon der WEA dient als Verankerung eines Leinenendes (ohne Buffer-Mooring). Das andere Ende wird, wie oben beschrieben, verankert. Dabei kann die Longline 100-300 m lang sein. Längere Longlines könnten am nächsten Pylon angehängt werden.

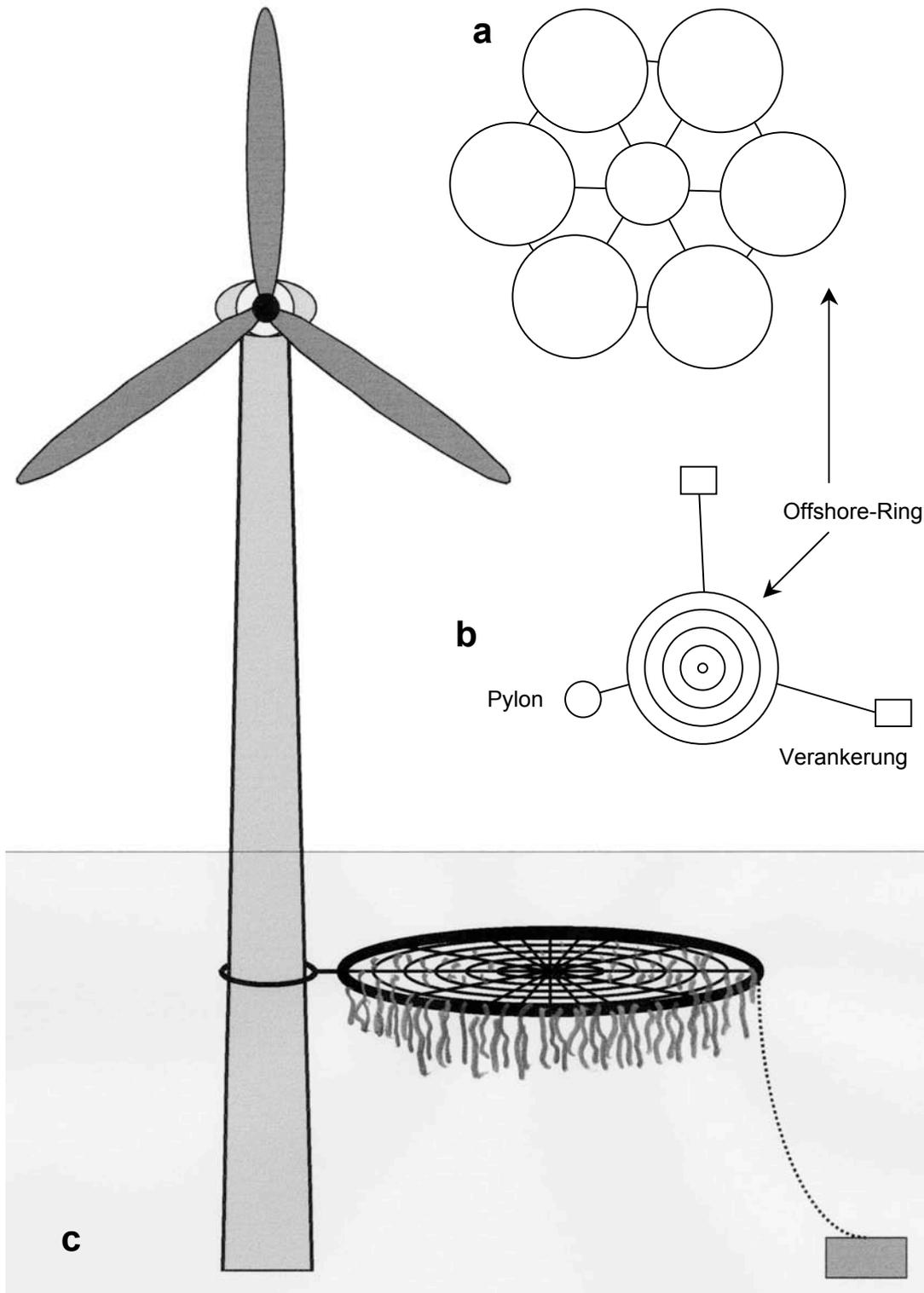


Abb. 35 (a) & (b) Ringkonstruktionen aus der Vogelperspektive. (a) In der Mitte steht der Pylon der WEA und dient als Verankerungspunkt der Ringe, die ebenso untereinander verbunden sind. (b) Pylon mit nur einem Offshore-Ring, der zur äußeren Seite zwei Verankerung braucht. (c) Seitenansicht eines Pylons mit Offshore-Ring für die Kultur von Algen oder Muscheln. Am äußersten Punkt des Ringes ist ein Ankerstein angebracht.

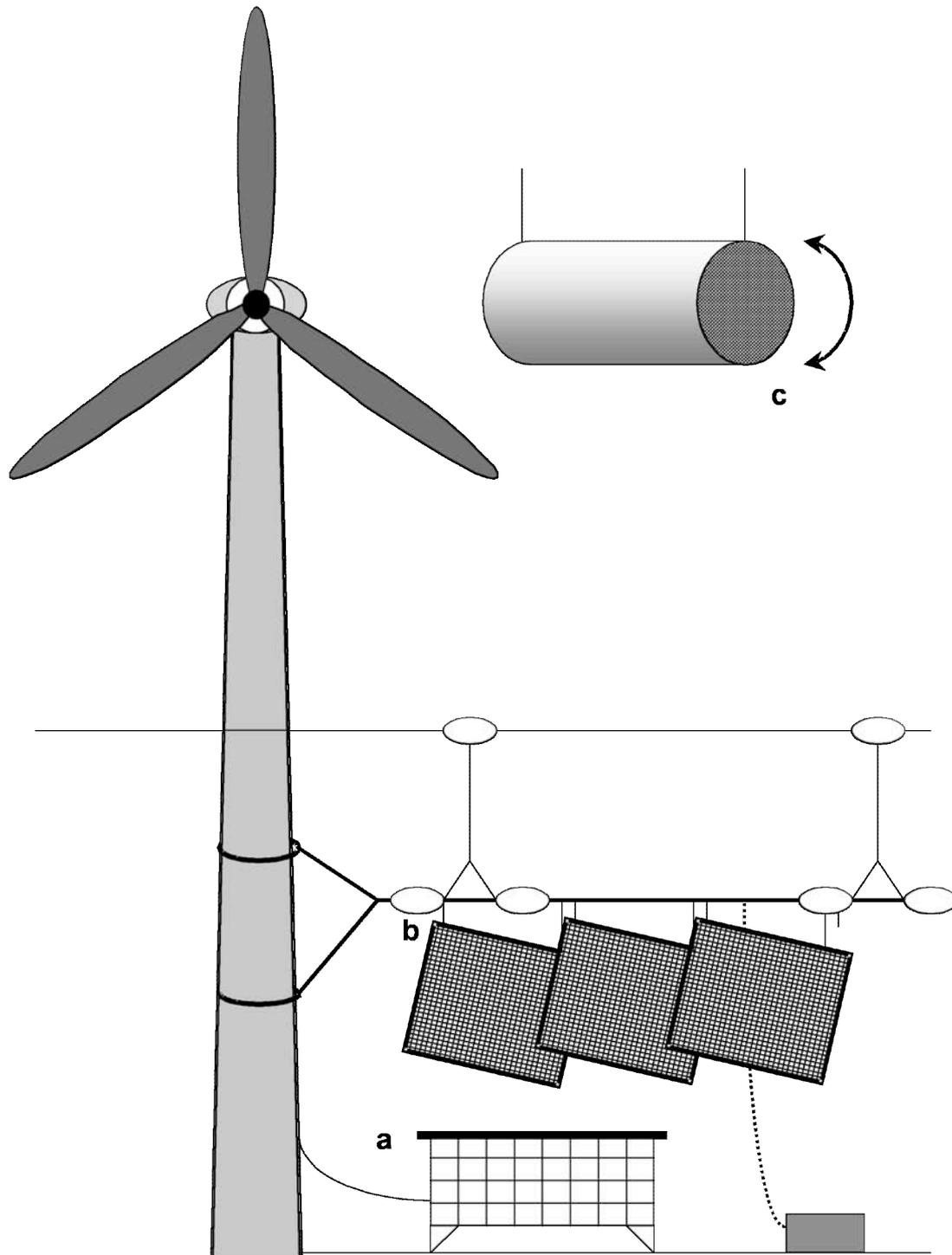


Abb. 36 (a) Seitenansicht eines Pylons in Kombination mit einem in Bodennähe aufgestellten Austernzuchtkäfigs, (b) „Austerntablets“ an einer Langleine und (c) rotierender Austernkäfig (Tonne).

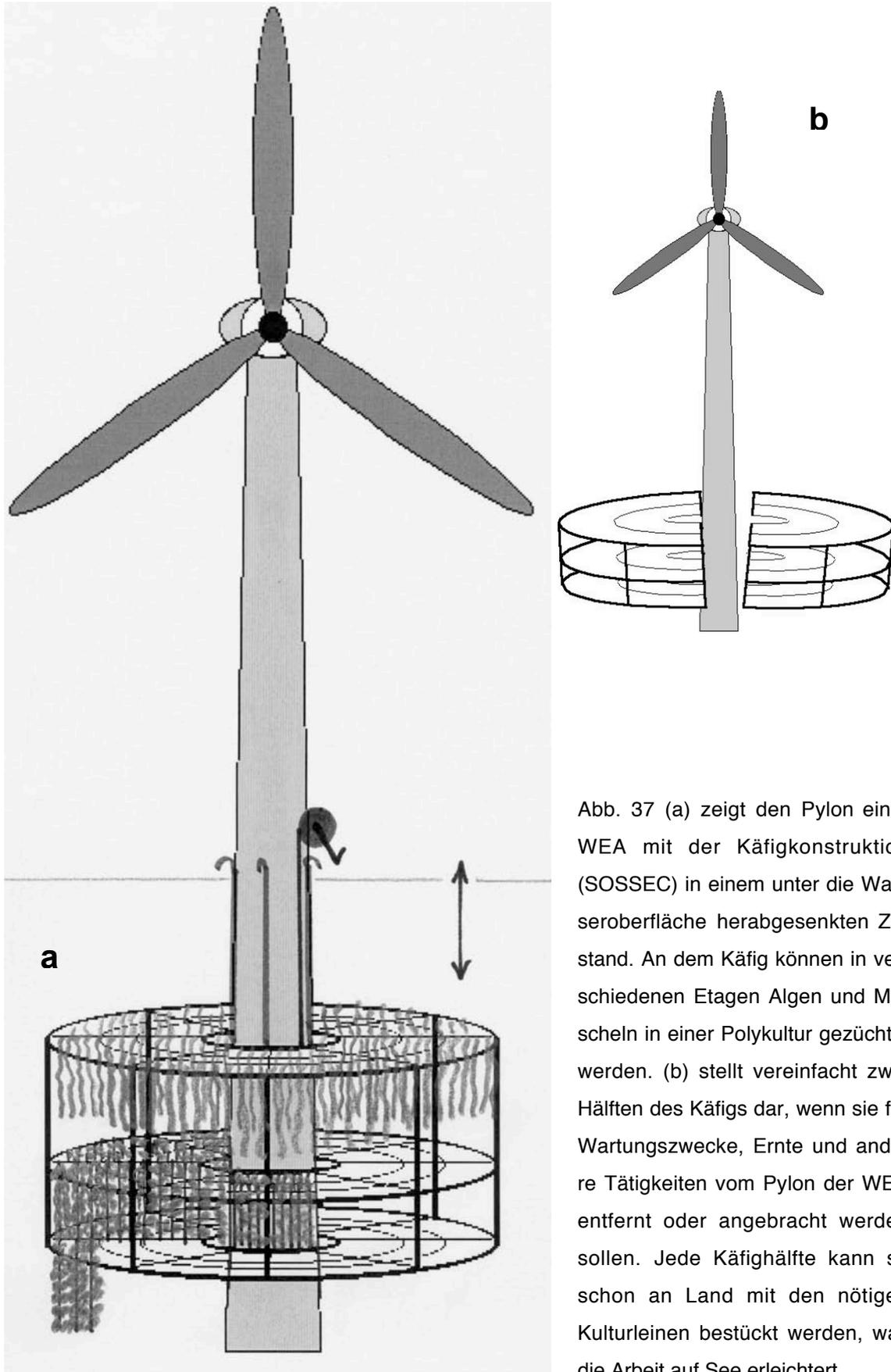


Abb. 37 (a) zeigt den Pylon einer WEA mit der Käfigkonstruktion (SOSSEC) in einem unter die Wasseroberfläche herabgesenkten Zustand. An dem Käfig können in verschiedenen Etagen Algen und Muscheln in einer Polykultur gezüchtet werden. (b) stellt vereinfacht zwei Hälften des Käfigs dar, wenn sie für Wartungszwecke, Ernte und andere Tätigkeiten vom Pylon der WEA entfernt oder angebracht werden sollen. Jede Käfighälfte kann so schon an Land mit den nötigen Kulturleinen bestückt werden, was die Arbeit auf See erleichtert.

4.0 Rechtsprechung

Bei der Kultivierung von marinen Organismen im Offshore-Bereich werden Gebiete innerhalb der 12 Seemeilenzone und in der ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) angesprochen. Allgemein kann im Völkerrecht auf die einschlägigen umweltvölkerrechtlichen Regelungen in Bezug auf lebende, natürliche Meeresressourcen verwiesen werden, dem Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen (SRÜ), dem Übereinkommen über die biologische Vielfalt (CBD) und dem Übereinkommen über den Schutz der Meeresumwelt des Nordostatlantiks (Oslo-Paris-Übereinkommen; OSPAR Convention) (CZYBULKA & KERSANDT, 2000). Nach dem SRÜ, welches für die BRD im Jahre 1994 in Kraft trat, unterscheidet man in an das Festland anschließende Gebiete: die Küstengewässern, der Festlandsockel, die AWZ und die Hohe See.

Zur aquatischen Hoheitszone der BRD zählen neben den Binnengewässern sowie den Bereichen entlang der Küstenlinie (bzw. dem Verlauf der Niedrigwasserlinie; § 1 Wasserhaushaltsgesetz, WHG) das Küstenmeer innerhalb der 3 Seemeilenzone (Art. 2, SRÜ). Die Küstengewässer der BRD sind außerdem auf die 12 Seemeilenzone ausgedehnt und beschreiben das Territorialgewässer, in dem souveräne Rechte ausgeübt werden dürfen. Das weitere deutsche Hoheitsgebiet wird durch die an das Küstenmeer angrenzende ausschließliche Wirtschaftszone (AWZ) gebildet.

Dieser gesamte aquatische Raum unterliegt den Bestimmungen unterschiedlicher Behörden (Wasser- und Schifffahrtsdirektion; Landesamt für Wasserwirtschaft; Landeshafenamt; Amt für Fischerei), Dezernate (Wasserwirtschaft; Hafen und Schifffahrt; Naturschutz) und Verbände (regionale Schutzgemeinschaften). Die einzelnen Institutionen haben gesetzlich verankerte Aufgaben zu erfüllen, die der Abwehr von Gefahren für die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs und der Meeresumwelt dienen, der Umweltentlastung und dem Natur- und Umweltschutz sowie der Vergabe von Genehmigungen zum Errichten von Bauwerken aller Art oder der Nutzung von Wasserflächen u.s.w.

Nachfolgend wird aufgrund der regionalen Jurisdiktion zwischen den Bereichen des Küstenmeeres (12 Seemeilenzone) und der AWZ (12-200 Seemeilenzone) unterschieden.

4.1 Innerhalb der 12-Seemeilenzone: Das Küstenmeer

Das Küstenmeer mit einer Ausdehnung von bis zu 12 Seemeilen gehört zum Territorialgewässer der BRD und unterliegt somit einer souveränen Verwaltung. Hier ist grundsätzlich das Recht des jeweilig angrenzenden Bundeslandes zu beachten (Art. 30 GG).

Das Küstenmeer ist vielfach aufgeteilt und dient verschiedenen Nutzungstypen. Eine Nutzung kann neben der Berufsschifffahrt, Fischerei, Manöver der Marine, Bergbau, Freizeittourismus auch der Schutz bestimmter Zonen sein. Letztere sind als Nationalpark, als Flora-Fauna-Habitat (FFH) oder Vogelschutzgebiete deklariert.

Werden die Schifffahrt und Eigentumsfragen der Bundeswasserstraßen berührt, so ist die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung zuständig. Innerhalb des Hoheitsgebietes sind die jeweiligen Wasser- und Schifffahrtsämter (WSA) der Zuständigkeitsbereiche verantwortlich (Bremerhaven, Cuxhaven, Emden, Tönning, und Wilhelmshaven) (WOLTERS, pers. Komm).

Die Ausführung der Fischerei unterliegt ausschließlich den nationalen Instanzen, also den Bundes- und Landesgesetzen, aber keinen EG-Richtlinien und -Verordnungen. Für die Nordsee wären in diesem Falle das Staatliche Fischereiamt in Bremerhaven oder in Kiel zuständig. Innerhalb des niedersächsischen und schleswig-holsteinischen Wattenmeeres greifen größtenteils die jeweiligen Nationalparkgesetze (NPG; siehe unten) bzw. die Küstenfischereiordnung (KüFO [Technik]), das Landesfischereigesetz (LfischG [Vergabe von Lizenzen, Ausweisung von Bezirken]) oder die Landesverordnung über den Schutz der Deiche und der Küsten (DKVO). Laut diesen Gesetzen wird die Muschelfischerei allgemein zum Fischfang gezählt. Die Entnahme von Algen aller Art wird in diesen Gesetzen nicht geregelt.

In der Bundesrepublik Deutschland fällt die Ausweisung von Nationalparks unter die Auftragsverwaltung der jeweiligen Bundesländer und sind in den entsprechenden Gesetzestexten der Landesnaturschutzgesetze verankert (Niedersachsen § 25, Schleswig-Holstein § 15a).

Nach internationalen Rechtsvorschriften gibt es die Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie (FFH-RL), welche ein einheitliches, europaweites Schutzgebietsnetz fordert und einrichtet sowie einen Mindestschutz in diesen Gebieten gewährleistet und letztendlich sicherstellt, daß Maßnahmen in diesen Gebieten zuvor auf ihre Verträglichkeit mit den Schutzziele geprüft werden. Ferner wird in der Agenda 21 zum Schutz der Küstengebiete aufgeführt, daß in nationaler Koordination Umweltverträglichkeitsprüfungen (UVP, siehe Teil II Kap. 4.3.6) durchzuführen sind und bedeutsame Lebensräume erhalten bzw. wiederhergestellt werden sollen. Bei der Verabschiedung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL; Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik) im Oktober 2001 ist die UVP in die EG-Richtlinien aufgenommen worden und seitdem für alle EG-Mitgliedsstaaten verbindlich in Kraft getreten.

4.1.1 Nutzung von Wasserflächen

Niedersachsen mit den Regierungsbezirken Weser-Ems und Lüneburg, Schleswig-Holstein mit den Regierungsbezirken Nord-Friesland und Dittmarschen sowie Hamburg und Bremen grenzen an die Nordsee. Innerhalb der Bezirksregierungen der jeweiligen Länder sind das Dezernat für Wasserwirtschaft und Wasserrecht bzw. das Dezernat für Raumordnung und das Dezernat für Naturschutz außerhalb des Nationalparks zuständig.

Das Einbringen von Stoffen ist ein Benutzungstatbestand (Nieders. Wassergesetz § 4,1,5) und muß genehmigt werden. Überdies ist bei der Nutzung von Wasserflächen für eine Aquakulturfarm eine wasserrechtliche Genehmigung erforderlich und muß beantragt werden. Das Vorhaben wird von den zuständigen Dezernaten der verantwortlichen Bezirksregierung bearbeitet, welche in

diesem Zusammenhang automatisch die jeweiligen relevanten Teilaspekte prüfen. Prüfungskriterien ist z. B. der Naturschutz, welcher grundsätzlich Teil des Verwaltungsverfahrens ist.

Weiterhin ist ein privatrechtlicher Nutzervertrag für die Inanspruchnahme der bundeseigenen Wasserflächen erforderlich. Außerdem braucht man nach § 31 Bundeswasserstraßengesetz (BWaStrG) für die Nutzung der Wasserflächen, z. B. für die Züchtung von Algen oder Muscheln, eine Strom- und schiffahrtspolizeiliche Genehmigung, die vom WSA oder der Wasser- und Schifffahrtsdirektion ausgestellt wird.

Die Anlagen müssen durch Seezeichen (Kardinaltonnen, Sperrgebietstonnen) kenntlich gemacht werden, die ebenfalls genehmigt werden müssen. Eine Betonung der Anlage, wenn alleinstehend, ist zwingend erforderlich. In diesem Zusammenhang wird auch geprüft, ob ein Sperrgebiet für die Schifffahrt zu errichten ist. In diesem Falle können Nutzerkonflikte durch die Überlappung der ausgewiesenen Areale mit den Raumnutzungsansprüchen der Fischer und Sportbootfahrer entstehen (WOLTERS, pers. Komm).

4.1.2 Nationalparks

Das Deutsche Küstenmeer in der Nordsee ist großflächig als eine zu schützenden Zone, nämlich dem "Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer", dem „Nationalpark Hamburgisches Wattenmeer“ und dem "Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer", ausgewiesen. Hinzu kommen Flora-Fauna-Habitate (FFH) und Vogelschutzgebiete (Important Bird Areas, [IBA]; Abb. 25). Für den Fall, daß eine Anlage im Naturschutzgebiet betrieben werden sollte, muß beim Amt für Umweltschutz ein Genehmigungsantrag gestellt werden. Je nach Ausmaß ist neben der Unteren Landschaftspflegebehörde die Obere Landschaftspflegebehörde als zuständige Organe des Umweltministeriums des betreffenden Bundeslandes zuständig.

4.1.2.1 Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer

In Schleswig-Holstein ist die Fischerei ein Hoheitsrecht des Landes, das insbesondere für die Muschelfischerei in Form von zeitlich begrenzten Lizenzen auf einzelne Betriebe übertragen wird. Das erlaubt dem Land Schleswig-Holstein, kurzfristige Regulationensmaßnahmen, wie Gebietseinschränkungen oder ein Mindestmaß von Organismengrößen, festzulegen.

Ein Großteil des schleswig-holsteinischen Wattenmeeres ist zum Nationalpark deklariert worden (s.u.). In diesem Raum ist die Fischerei auf bestimmte Gebiete beschränkt, wobei diese wiederum nach dem Inkrafttreten der Neuregelungen im Jahre 1997 weiter eingeschränkt bzw. neu deklariert wurden (Abb. 38). Für das Fischen von Muscheln (Saatmuscheln) gibt es enge Richtlinien, die dem Landesfischereigesetz (LFischG) unterliegen. Das betrifft z.B. das gezielte Abfischen im Bereich des Eulitorals bzw. in der Kernzone 1, welches nach dem neuen *Programm zur Bewirtschaftung der Muschelressourcen im Nationalpark* aus dem Jahre 2000 untersagt ist. Weiterhin ist das Eulitoral auch für die Nutzung als Kulturfläche gesperrt, was eine wesentliche Einschränkung der Expansionsmöglichkeit der kommerziellen Muschelkulturwirtschaft im Wattenmeer zur Folge hat.

Früher wurde die Austernzucht Dittmeyer auf Sylt (*Sylter Royal*) unter dem Aspekt der Fischerei behandelt. Dieses erlaubte das Aufstellen von Kulturtischen, die heute eine bauliche Veränderung darstellen und genehmigt werden müßten. Aufgrund der Anwendung des Gewohnheitsrechts können die bestehenden Austernkulturen bislang weiterhin genehmigt werden.

In dem am 11.02.1997 in Kraft getretene *Programm zur Bewirtschaftung der Muschelressourcen im Nationalpark „Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer“* und seinen Neuregelungen wird eine Kultur von anderen Arten als Miesmuscheln und Austern ausgeschlossen. Das bedeutet, daß jede andere wirtschaftlich bedeutende Muschel aus administrativen Gründen nicht kultivierbar ist. Somit wird ein wesentliches Entwicklungspotential in der Muschelwirtschaft blockiert. Diesem Programm liegt ein öffentlich rechtlicher Vertrag zwischen der Nationalparkverwaltung und der Miesmuschelkulturwirtschaft zu Grunde, der bis

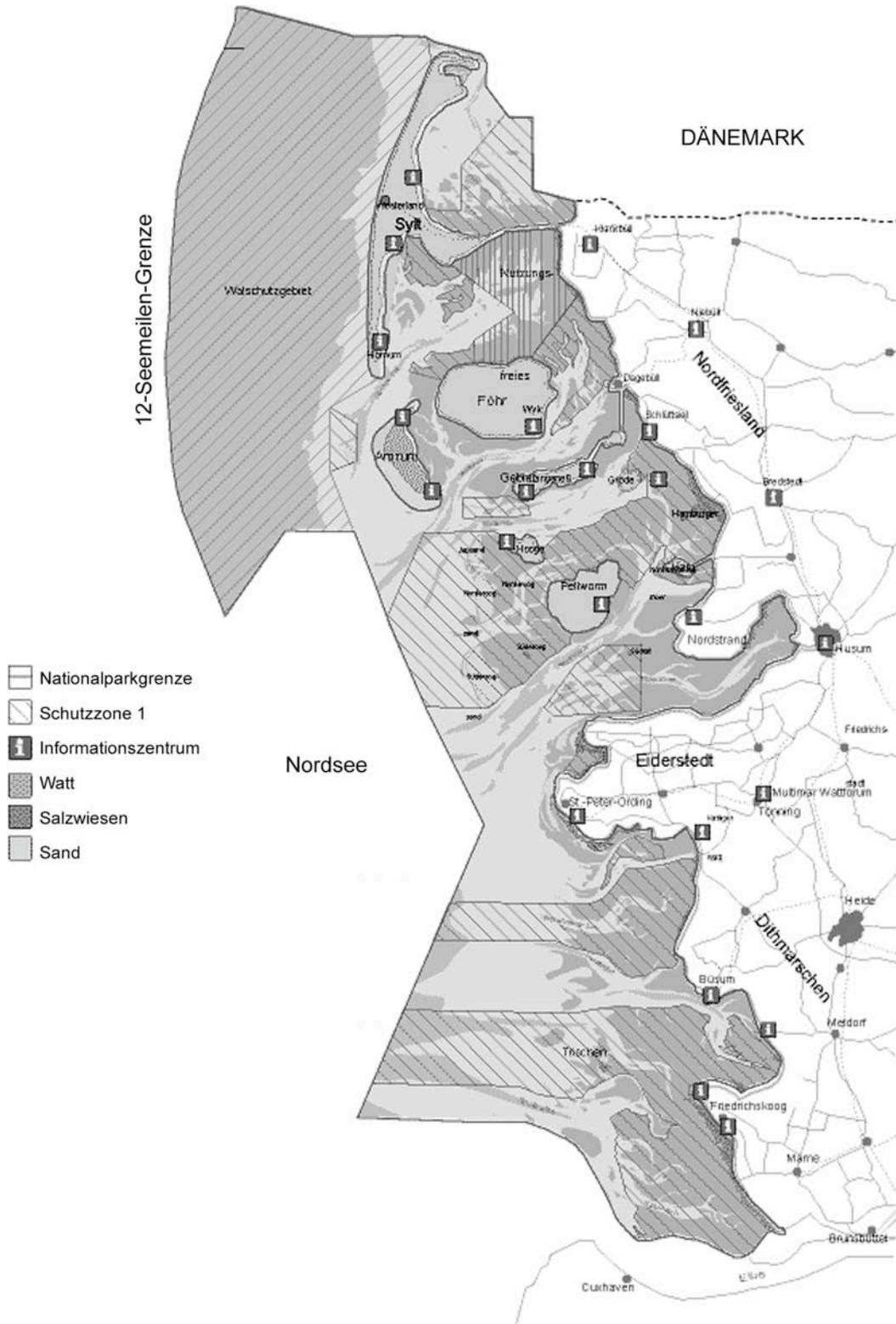


Abb. 38 Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer. Modifiziert nach NSW (2000)

Ende 2006 gültig ist. Bis dahin soll die derzeit vorhandene Miesmuschelkulturwirtschaft eine ökonomische Planung zur Bewirtschaftung des Nationalparks vorstellen, daß durch das *Black-Box-System* (s.u.) unterstützt wird. In den Neuregelungen von 1997 wurden das gesamte Eulitoral und 93 % der Zone 1 für die Fischerei gesperrt, so daß letztendlich nur noch 35 % des zuvor befischbaren Raumes für den Fischereisektor zur Verfügung steht. Weiterhin wurden die zuvor ausgewiesenen Kulturflächen für die Miesmuschelzucht von 3.100 Hektar schrittweise in den folgenden Jahren auf 2.000 Hektar reduziert, die der Austernzucht von 140 Hektar auf nur 30 Hektar. Gleichzeitig sind die Gebühren für die Fangerlaubnis und für die Kultivierung pro Hektar drastisch in die Höhe gestiegen. Von diesen Gebühren sollen in Zukunft Monitoringarbeiten der Naturschutzbehörden bezahlt werden bzw. in die Kassen der Management- und Verwaltungsbehörden fließen.

Mit einem Black-Box-System sollen diese Regelungen überwacht werden. Darin enthalten sind die genaue Ortsbestimmung der Fangfahrzeuge mittels GPS, die Kontrolle von Betriebsbüchern und Stichproben. Außerdem wird der technische Zustand von Pumpen und Winden erfaßt. So sollen die genauen Tageszeiten, Ort, Kurs, durchgeführte Tätigkeiten (Fischen oder Aussäen) gespeichert werden, um neben der Kontrolle auch eine ökonomisch sinnvolle Bewirtschaftung zu planen.

Es gibt neben dem Verbot der Anlandung von Miesmuscheln zwischen dem 15. April und dem 14. Juli eine Besatzmuschelschonzeit vom 1. Mai bis zum 30. Juni (KüFO). Anfangs war eine Mindestgröße der Muscheln mit einer Schalenlänge von 5 cm vorgeschrieben, wobei der untermaßige Anteil 10 % des Fanggewichts betragen durfte. Heute wird diese Regelung durch eine Mindestverweildauer auf den Kulturflächen von minimal 10 Monaten ergänzt. Anlandungen aus natürlichen Standorten sind streng verboten.

4.1.2.2 Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer

In Niedersachsen gilt als Grundlage das Niedersächsische Naturschutzgesetz vom 11.4.1994 (letzte revidierte Fassung 11.2.1998), in dem in § 25 die Aus-

weisung der Nationalparks verankert ist. Speziell für den Nationalpark "Niedersächsisches Wattenmeer" wurde am 13.12.1985 die Nationalparkverordnung geschrieben, die am 16.7.1999 von dem Nationalpark-Gesetz abgelöst wurde. In diesem Zusammenhang sind auch das Niedersächsische Landesraumordnungsprogramm vom 20.3.1994, welches daß Gebiet des Nationalparkes als Vorranggebiet für Natur und Landschaft festlegt, und das Niedersächsische Landschaftsprogramm vom 18.4.1998, welches die Rahmenziele und Maßnahmen im Nationalpark festlegt, zu nennen.

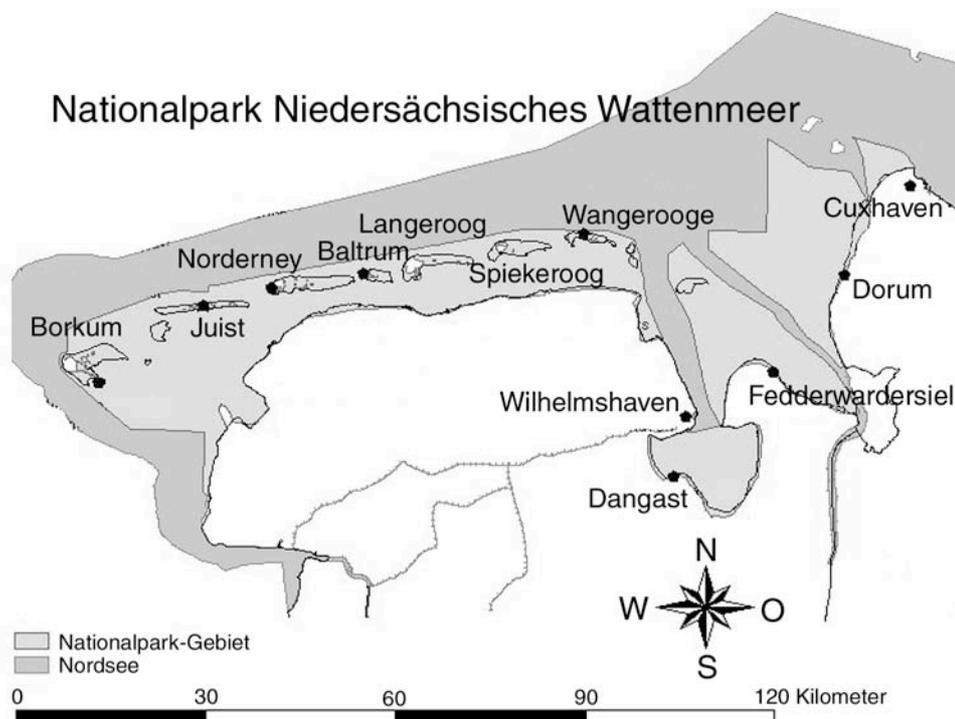


Abb. 39 Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer. Niedersächsisches Umweltministerium 2000. Modifiziert nach NNW (2000)

Der Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer ist in drei Zonen untergliedert: ① Ruhezone (Zone I), ② Zwischenzone (Zone II) und ③ Erholungszone (Zone III) (Abb. 39). Nach § 5 des Gesetzestexts über die Niedersächsischen Nationalparks "Niedersächsisches Wattenmeer" sind in der Ruhezone alle Handlungen verboten, die den Nationalpark oder einzelne Flächen des Parks zerstören,

beschädigen oder verändern. Alle Flächen dieser Zone dürfen nur in Ausnahmen betreten werden. In der Ruhezone dürfen nur eingeschränkt Fischereitigkeiten ausgeführt werden. Nach § 8 ist jedoch die Miesmuschelfischerei bzw. das Anlegen von Miesmuschelkulturen an bestimmten Stellen erlaubt. Solche Stellen sind Gebiete südlich des Borkumer Fahrwassers und der Fischerbalje und die Gebiete I/4, I/5, I/8, I/10, I/13, I/15, I/19, I/20, I/21 und I/22. Eine Nutzung von Algen ist im Nationalparkgesetz nicht erwähnt.

4.1.2.3 Nationalpark Hamburgisches Wattenmeer

Im Nationalpark gibt es zwei Schutzzonen (Abb. 40). Die Zone I (Kernzone) umfaßt ca. 90 % der Fläche und unterliegt strengen Schutzbestimmungen. Sie darf nur auf dem *Kleinen Vogelsand* und im übrigen nur auf gekennzeichneten Wegen betreten werden. In der Zone II (Pflegezone, ca. 10 % der Fläche) ist unter strengen Auflagen eine wirtschaftliche Nutzung erlaubt. Betretungsverbote sind hier nicht ausgesprochen worden.

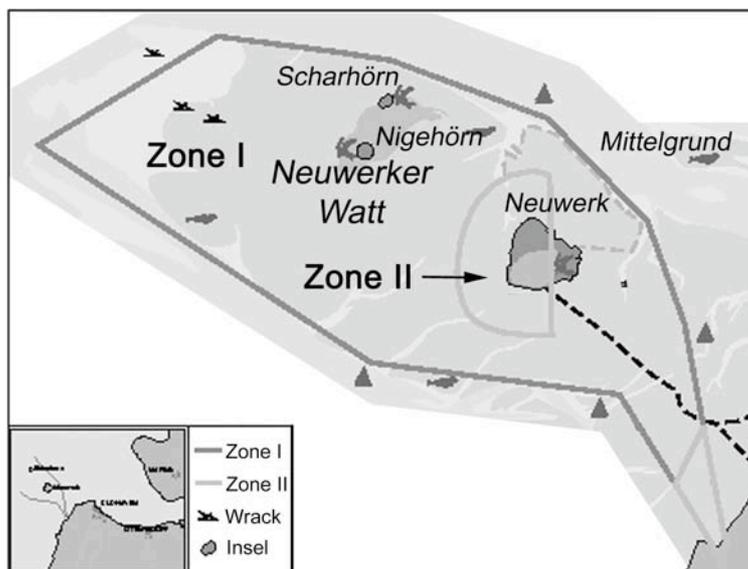


Abb. 40 Nationalpark Hamburgisches Wattenmeer. Nationalparkamt 1990. Modifiziert nach NHW (2000)

4.2 Außerhalb der 12-Seemeilenzone

Die an das Küstenmeer grenzende AWZ erstreckt sich bis zu 200 Seemeilen von der Basislinie (Art. 57, SRÜ) und kann von dem jeweiligen Küstenstaat als Wirtschaftszone proklamiert werden. Die Ausübung der Hoheitsrechte (Art. 60, SRÜ), die Gesetzgebung über Zoll und die Regelung über Sicherheit und Gesundheit kann von den jeweiligen (souveränen) Küstenstaaten ausgeführt werden. Ferner hat der Küstenstaat nach Art. 56 SRÜ das Recht, die lebenden und nicht lebenden Ressourcen über, im und unter dem Meeresboden auszubeuten bzw. zu erforschen. Der Festlandsockel kann im Gegensatz zur AWZ bis zu 350 Seemeilen von der Küste entfernt sein und bis zu einer Wassertiefe von 200 m reichen. Hier darf der Küstenstaat nach Art. 76 und 77 SRÜ alle Bodenschätze wie in der AWZ nutzen, ohne ausdrücklich auf sein diesbezügliches Recht hinzuweisen.

Der Küstenstaat hat das ausschließliche Recht, Verordnungen zu erlassen, die das Errichten, Inbetriebnehmen und Nutzen von künstlichen Inseln, Anlagen und Bauwerken regeln (Art. 60, SRÜ). Von den erwähnten Offshore-Konstruktionen trifft der Begriff „Anlagen“ für eine Aquakulturfarm zu. Insbesondere sind hier die fest auf dem Boden aufsitzenden oder mittels Pfeiler oder Rohre verbundenen Systeme angesprochen. Es besteht eine Bekanntmachungspflicht (Nachrichten für Seefahrer oder andere Informationsdienste) bzw. die Notwendigkeit der Errichtung einer Sicherheitszone, da solche Anlagen als Schifffahrtshindernisse gelten (Art. 60, SRÜ). Die Unterhaltung von ständigen Warneinrichtungen wie Schall-, Lichtsignalen und Radarreflektoren ist eine selbstständig durchzuführende Pflicht. Sie kann in Bezug auf Umfang und Notwendigkeit den §§ 35-39 der deutschen Festlandsockel-Bergverordnung (FlsBergV) entnommen werden. Im deutschem Recht muß nach § 7 der Verordnung für Seestraßenordnung (VSeeStrO) die Offshore-Windkraftanlage gesichert werden. Jedoch gilt dies nicht für kleinere Aquakulturanlagen, die innerhalb eines solchen Windparks liegen.

Ferner unterliegt der Küstenstaat den Art. 208 und 214 SRÜ, die unter Berücksichtigung des Naturschutzes zum Erlaß und zur Durchsetzung angemessener

Umweltschutzregelungen hinweisen. Dies betrifft außerdem die Interessen der Schifffahrt und Fischerei.

Bis heute ist nicht abschließend geklärt, ob die Regeln der AWZ der Aufgabenverwaltung des Bundes oder der jeweiligen Landes unterliegt. Da nach Art. 32 GG die Pflege der auswärtigen Angelegenheiten Sache des Bundes ist, könnten die Jurisdiktionsrechte des Art. 60 SRÜ seiner Kompetenz zufallen. Obgleich das Land normalerweise durch die Bestimmung des GG im Rahmen der konkurrierenden Gesetzgebung ermächtigt ist, rechtliche Grundlagen über die Belange der Wirtschaft, der Hochsee- und Küstenfischerei, der Hochsee- und Küstenschifffahrt, der Abfallbeseitigung usw. festzulegen und damit eine Auftragsverwaltung im Sinne des Bundes vollzieht, kann sich der Bund nach Art. 72 GG vorbehalten, von seiner Gesetzgebungskompetenz Gebrauch zu machen (Bundesrecht bricht Landesrecht). Üblicherweise versucht man, die jeweils geltenden Landesregeln eines Küstenmeerbereiches auch für die AWZ geltend zu machen, es sei denn, diese Regeln enthalten entsprechende Einschränkungen.

Ebenfalls juristisch ungeklärt ist die Gesetzesgrundlage in der AWZ. Das Zoll-, Steuer- und Strafrecht findet nach dem internationalen Völker- und EU-Recht zwar Anwendung, das Wasserhaushaltsgesetz jedoch nicht. Auch unklar ist die Übertragbarkeit der landesgesetzlichen Bestimmungen des Naturschutzes, der Landespflanze und der Raumordnungsplanung. Manche Verordnungen gelten sowohl für das Küstenmeer als auch für die AWZ. Das ist aber nur möglich, wenn beide Gebiete in der Verordnung als Anwendungsbereich geltend gemacht wurden (z. B. Seeanlagenverordnung).

Was die Sicherheit der Anlagen gegenüber der Schifffahrt angeht, so ist das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) zuständig und kann wasserrechtliche Genehmigungen erteilen.

4.3 Weitere Gesetze und Verordnungen

4.3.1 Bundesnaturschutzgesetz und Umweltrecht

Die Zulassung eines Aquakulturbetriebes als Seeanlage unterliegt innerhalb der 12-Seemeilenzone der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung. Sind Eingriffe nicht vermeidbar, müssen sie ausgeglichen oder ersetzt werden. Das Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) ist im Mai 2001 durch die Bundesregierung novelliert worden und befindet sich im Zustimmungsverfahren durch die Gesetzgeber. Die neuen Regelungen, die die Gewässer des Küstenmeers ohne AWZ (12 Seemeilenzone) betreffen, werden in der Novelle des BNatSchG ergänzt. Es sollen weitere gesetzlich zu schützende Biotope und solche, die der partiellen oder völligen Zerstörung unterliegen, neu ausgewiesen werden. Derartige Biotope sind Fels- und Steilküsten, Küstendünen und Strandwälle, Strandseen, Boddengewässer mit Verlandungsbereichen, Salzwiesen und Wattflächen im Küstenbereich. Weiterhin umfaßt es den Schutz von Seegraswiesen und sonstige Makrophytenbestände, Riffe, sublitorale Sandbänke der Ostsee sowie artenreiche Kies-, Grobsand- und Schillbereiche im Meeres- und Küstenbereich. Zudem sieht das neue Gesetz aufgrund der zunehmenden wirtschaftlichen Aktivitäten in der AWZ eine Verschärfung der Seeanlagenverordnung vor, in dem eine Genehmigung bei zu hoher zu erwartender Umweltbeeinträchtigung versagt werden soll. Ferner soll nach dem neuen Gesetz die AWZ den Bestimmungen des Bundesnaturschutzrechts unterliegen.

Nach dem Umweltrecht sind die Länder selbst im Rahmen des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) für die Einhaltung der dort aufgeführten Regelungen für die Vergabe von Genehmigungen verantwortlich. § 1 des WHG beschreibt den sachlichen Geltungsbereich, indem in § 1a das Meer zwischen der Küstenlinie bei mittlerem Hochwasser oder der seewärtigen Begrenzung der oberirdischen Gewässer und der seewärtigen Begrenzung des Küstenmeeres (Küstengewässer) in diesem Gesetz definiert wird. Ferner beschäftigen sich die § 2 (Erlaubnis- und Bewilligungserfordernis) und § 7 (Erlaubnis, Anforderungen an das Einleiten von Abwasser) mit der Genehmigung der Nutzung des Wassers, wenn sie physikalisch, chemisch und biologisch unbedenklich sind. § 3 betrifft die Be-

nutzung und § 4 die Benutzungsbedingungen und Auflagen. § 22 beinhaltet die Haftung für die Änderung der Beschaffenheit des Wassers und die damit verbundenen Auflagen (Muschelzucht in Directive 79/923 EEC [1979] und Käfigkultur in 91/492 [1991] EEC).

Nach §§ 1-4 liegt ein Verbot der Einbringung von Abfällen und anderen Stoffen und Gegenständen in die Hohe See (Hohe-See-Einbringungsgesetz) vor. Auch nach den Gesetzen zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz, WHG) dürfen keine Abfallstoffe in die Meeresumwelt auf Hoher See ausgebracht werden. Das gilt neben dem unter deutsche Souveränität fallende Küstenmeer für alle weiteren Meeresbereiche (AWZ, Meeresboden, Meeresuntergrund) sowie für alle dort vorhandenen Anlagen und Plattformen. Im Falle einer intensiven oder semi-intensiven Fischzucht könnte die Produktion großer Mengen Fischfaeces zu einer Verschmutzung der Wassersäule und des Meeresbodens führen, deren Ursprung unmittelbar durch menschliches Handeln verursacht wurde. Solche Verschmutzungen sind nicht erlaubt, da sie die lebenden Organismen und das Meeresökosystem beeinträchtigen und die Qualität des Meerwassers oder andere Umweltgüter verschlechtern könnten. Ausnahmen dürfen nur im Falle einer Seebestattung oder für die Verklappung von Baggergut erteilt werden. Im Falle einer Muschel- oder Algenzucht entfallen solche Auflagen größtenteils, da es sich dann eher um eine umweltentlastende Nutzung handelt.

Bezüglich der Zucht von Fischen gilt die Gesetzgebung für Abfallstoffe, die in die Umwelt abgegeben werden, unverändert. Jedoch soll eine Überarbeitung des Anhangs 29 des Oberflächenwasserverschmutzungsgesetzes in den nächsten Jahren stattfinden.

Nach EU-Richtlinien sind Bereiche in Küstennähe ein zu schützendes Gut. Nach § 1 der WRRL vom Okt. 2000 soll zum Schutz der Hoheitsgewässer und der Meergewässer beigetragen und die Verschmutzung der Meeresumwelt vermieden oder beseitigt werden.

4.3.2 Flora-Fauna-Habitate (FFH) und Vogelschutzgebiete (IBA)

Nach EU-Richtlinien müssen in der AWZ FFHs und IBAs ausgewiesen werden, sofern das betreffende Land von seinen Hoheitsrechten Gebrauch macht und dort solche zu schützende Gebiete existieren. Unter FFH-Gebietsvorschlägen sind diejenigen Gebiete zu verstehen, die von der Bundesregierung auf der Grundlage von Vorschlägen der Bundesländer gemäß Art. 4 Abs. 1 FFH-RL an die Europäische Kommission gemeldet worden sind. In vielen Meeresgebieten sind Taucherarten sowie die Brandseeschwalbe in Anhang I der EU-Vogelschutzrichtlinie aufgeführt und fallen mit der Trauerente unter das Abkommen zur Erhaltung der afrikanisch-eurasischen wandernden Wasservögel (Bonner Konvention). In der AWZ Deutschlands sind noch keine Schutzgebiete ausgewiesen worden, jedoch hat das Bundesamt für Naturschutz einige Gebiete vorgeschlagen. In den zu schützenden Habitaten ist nur eine Realisierung von Projekten möglich, wenn sie mit den Erhaltungszielen des Gebietes verträglich sind. Projekte, die entgegen der Erhaltung der Umwelt diese belasten, sind nach Art. 6 Abs. 3 und 4 der FFH-Richtlinie verboten. Ausnahmen können erteilt werden, wenn Verträglichkeitsprüfungen, Alternativprüfungen, zwingende Gründe des überwiegenden öffentlichen Interesses und Erhaltung der ökologischen Kohärenz dem Schutzziel vorangestellt werden.

Das Bewilligungsverfahren für solche Ausnahmen ist allerdings mitunter äußerst kompliziert, da im deutschen Hoheitsgebiet die Anwendung des EU-Rechts in der AWZ dem Rechtsregime des internationalen Seevölkerrechts und dem Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen unterliegt. Somit muß geprüft werden, ob und unter welchen Voraussetzungen die im Hoheitsgebiet der Bundesrepublik Deutschland geltenden Umsetzungsvorschriften für die FFH- und Vogelschutzrichtlinien auf die AWZ ausgedehnt werden können.

Ge- und Verbote in Meeresgebieten unterliegen außerdem generell dem Vorbehalt der Vereinbarkeit mit dem Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen.

4.3.3 Bundesberggesetz

Sobald eine Aquakulturanlage eine oder mehrere Verankerungen zum Meeresboden für ihre Sicherung benötigen, muß eine Genehmigung beantragt werden. Diese wird von der Bezirksregierung erteilt und wird unter Berücksichtigung der im Bundesberggesetz (BundesbergG) erforderlichen Ansprüche vergeben (BMU, 2001).

4.3.4 Muschel- & Fischhygieneverordnung

Die Verordnung über lebende Muscheln (Muschelverordnung; BGBl. II Nr. 93/1997) wird auf Muscheln, die zum direkten Verzehr oder zur Verarbeitung für den Verzehr bestimmt sind, angewendet. Sie regelt die Vermarktung von lebenden Muscheln und anderen Meereslebewesen außer Fisch, wo die Fischhygieneverordnung Anwendung findet. Festgesetzt werden die Anforderungen an Muscheln in bezug auf den Frischezustand, den bakteriologischen Zustand sowie die Anforderungen an Erzeugungsgebiete, Versandzentren, Reinigungszentren etc. Ferner sind hier die allgemeinen Anforderungen an die Verpackung, die Lagerung, die Beförderung sowie spezielle Anforderungen an die Kennzeichnung von Einzelverpackungen in einer Sendung lebender Muscheln festgelegt. Die Muschelverordnung wurde im Jahre 1998 geändert (BGBl. II Nr. 354/1998) und beschreibt den Gehalt an "Amnesic Shellfish Poison" (ASP) in den verzehrbaren Muschelteilen, der bei der HPLC-Analyse 20 mg Domoic acid je Kilogramm Muschelfleisch nicht übersteigen darf. Zusätzlich muß jede Partie lebender Muscheln, die für einen Verarbeitungsbetrieb bestimmt sind, mit einem Registrierschein zur Identifizierung versehen sein. Diese Scheine sind vom Verarbeitungsbetrieb für die Dauer der Mindesthaltbarkeitsfrist - mindestens jedoch für zwölf Monate - aufzubewahren.

4.3.5 Seeanlagenverordnung

Die Seeanlagenverordnung gilt in der ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) und behandelt nach § 1 alle festen oder schwimmend befestigten baulichen oder technischen Einrichtungen sowie Bauwerke und künstliche Inseln, wenn sie der Energieerzeugung oder anderen wirtschaftlichen Zwecken dienen. Für Aquakulturanlagen, die innerhalb eines Offshore-Windparks betrieben werden sollen, trifft diese Verordnung nur dann zu, wenn sie neben der Befestigung an den Pylonen eine weitere Verankerung am Meeresboden brauchen (z. B. Langleine, Offshore-Ring). Damit die Aquakulturanlagen die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs und der Meeresumwelt nicht gefährden, müssen sie genehmigt werden, wobei die Genehmigung zeitlich begrenzt sein kann (§§ 2 und 3) (BMU, 2001). Die Genehmigung erteilt das BSH mit der Zustimmung der jeweiligen Wasser- und Schifffahrtsdirektion. Handelt es sich um Anlagen zu wissenschaftlichen Forschungszwecken, so fallen diese nicht unter dieses Gesetz.

4.3.6 Erforderliche Vor- und Begleituntersuchungen

Voruntersuchungen sollen im Vorfeld, Begleituntersuchungen während der Bauphase oder des Betriebes einer Seeanlage (hier Aquakulturfarm) mögliche Auswirkungen auf die marine Umwelt feststellen und daraus Maßnahmen entwickeln, wie diese Auswirkungen zu vermeiden oder einzugrenzen sind. Die Erfordernis zu Voruntersuchungen ergibt sich im Wesentlichen aus dem Umfang des Projektes und seiner möglichen Auswirkung auf das betroffene Aufgabengebiet. Für die WSV sind dieses insbesondere die Bereiche Schifffahrt und Morphologie. Seitens der anderen Träger öffentlicher Belange (Wassergüte, Naturschutz, Fischerei) kann jedoch mit einer weiteren Anzahl von Voruntersuchungen gerechnet werden (UVPG) (WOLTERS, pers. Komm). Nach dem Europäischem Gemeinschaftsrecht wird in Art. 4 Abs. 3 der Richtlinie 85/337/EWG eine UVP bei intensiv betriebener Zucht erforderlich, wobei in diesem speziellen

Fälle nach Art. 1 Abs. 3 dieser Richtlinie zuständige Behörden bestimmt werden müssen (CZYBULKA & KERSANDT, 2000).

5.0 Logistik und Infrastruktur

Bei der Planung einer Offshore-Aquakulturanlage müssen neben den ozeanographischen, technischen und biologischen Voraussetzungen auch alle Aufgabenbereiche einer Zucht erfüllt werden, die vor dem Ausbringen des zu kultivierenden Organismus an Land durchgeführt werden müssen. Dazu gehören gegenüber der Aussaat auch Tätigkeiten bezüglich der Abwachsphase und weiterhin alle diejenigen, die bei der Ernte des Besatzes erforderlich sind. Diese Arbeiten erfordern gutes technisches Gerät, Know-how und Arbeitskräfte, eine gut geplante Logistik, sowie infrastrukturell alle Möglichkeiten des Heran- und Wegschaffens der Brut bzw. Ernte. Eine von DANIOUX *et al.* (1997) erstellte Skizze zeigt den Arbeitsaufwand und die damit verbundenen Infrastrukturbereiche einer Muschelfarm in Frankreich (siehe hierzu auch Abb. 45 in Anhang I). Grundsätzlich sind drei Bereiche der Infrastruktur zu unterscheiden:

1. ständig benötigte Infrastruktur (Ausrüstung wie Leinen, Auftriebskörper, Käfige, Ringe, Arbeitsgeräte, Boote mit Kränen, Häfen, Verkehrsanbindung, Sicherheit, Monitoring)
2. zusätzlich benötigte Infrastruktur vor dem Ausbringen des Besatzes (Nachschub an Larven, Tanksysteme an Land, Labor)
3. zusätzlich benötigte Infrastruktur für die Ernte und die Behandlung der Ernte (Ernteaufwand, Hälterungsbecken, Wässerungs-/Säuberungsanlagen, Abnehmer, weiterverarbeitende Industrie)

5.1 Ständig benötigte Infrastruktur

Die ständig benötigte Infrastruktur ist als die Basis eines Vorhabens zu verstehen. Es handelt sich um die Grundausstattung an technischem Equipment sowie um die erforderlichen Chancen einer Durchführbarkeit (Erfahrung, Arbeitskräfte, biologisches/physikalisches/technisches Know-how). Weiterhin müssen

Möglichkeiten der Versorgung und Kapital vorhanden sein. Außerdem ist ein wirtschaftlicher und organisatorischer Unterbau als Voraussetzung für ein solches Projekt und für die kommerzielle Nutzung zwingend erforderlich.

Bei den in Kapitel „Technik & Equipment“ vorgeschlagenen Materialien handelt es sich bezüglich der Leinen und Auftriebskörper um gängige Materialien, die in Deutschland gekauft werden können bzw. zu dem täglichen Bedarf ihrer Nutzer gehören. Bei den Versuchen mit dem Offshore-Ring für die Massenkultur mariner Makroalgen vor Helgoland hatte sich eine Leine bewährt, die in Frankreich hergestellt wurde (*Cremona*). Ähnliche Fabrikate sind bei Schiffsausrüstern in Bremerhaven und Bremen erhältlich. Die mit Polystyren-Schaum gefüllten Auftriebskörper aus Plastik sind ebenfalls von lokalen Firmen in unmittelbarer Nähe zu beziehen. Bei den strumpffartigen Netzen, die nach dem Ausdünnen über die Kulturleinen gezogen werden, können Materialien aus anderen Bereichen abgewandelt oder zweckentfremdet werden. Spezielle Netze sind nur in Frankreich oder Spanien und nicht auf dem aktuellen Markt in Deutschland erhältlich. Die erwähnten Offshore-Ringe sind Eigenkonstruktionen aus Materialien, die von Firmen aus Hamburg und Cuxhaven beziehbar sind. Für erste Forschungszwecke würde die Wattenmeerstation auf Sylt aus den Beständen älterer Forschungsprojekte 5-8 Ringe zur Verfügung stellen.

Die Stahlkonstruktion *SOSSEC* muß in Eigenarbeit der AWI-Werkstatt hergestellt werden. Dabei hat die Firma *Thyssen* Unterstützung angeboten.

Darüber hinaus werden Boote benötigt, die über einen Kran verfügen. Dieser Kran muß Lasten heben können, die den Gewichten einer voll bestückten Kulturleine bei der Ernte entsprechen. Der Kran muß außerdem die benötigten Ankersteine, die je nach Anforderung ein Gewicht von 3 Tonnen an Land überschreiten können, ausbringen. Manche Verankerungsgewichte betragen 5 Tonnen und mehr (z. B. für befeuerte Kardinaltonnen mit Gasvorräten für 2 Jahre). Solche Gewichte überschreiten die Hebekapazität der meisten Kräne an Bord der Forschungsschiffe (Heincke => 2,5 Tonnen; Uthörn => 2 Tonnen), so daß in den meisten Fällen ein Tonnenleger des jeweiligen Wasser- und Schiffsahrt-samtes in Anspruch genommen werden muß. Für solche Zwecke kann in der

Regel Amtshilfe beantragt werden. Die Boote müssen groß genug sein, um die entsprechenden Mengen an Jungmuscheln, Jungalgen und die Ernten transportieren zu können, sowie genug Arbeitsfläche zur Verfügung zu stellen. Für wissenschaftliche Zwecke sind die Schiffe des AWIs mit allen erforderlichen Geräten bestückt. Bei der kommerziellen Nutzung durch lokale Fischer müssen auch ihre Boote eingesetzt werden können. Letztere müssen Mindestgrößen für den Transport aufweisen und über einen geeigneten Arbeitsplatz verfügen. Manche Windparkbetreiber haben ihr Equipment bzw. die Nutzung ihrer Schiffe angeboten, wenn sie während des Baus der Anlagen zwischen Land und WEA's pendeln werden. Gerade während der Bauphase wird der Pendelverkehr sehr stark sein, was den kombinierten Besuch der Aquakulturanlage ermöglichen wird. Wenn die ersten WEA's fertiggestellt sind, besteht ebenfalls durch die Wartung der Anlagen hochfrequentiert Schiffsbetrieb, der vielseitig nutzbar wäre. Es ist geplant, jede Anlage nur zwei mal im Jahr zu warten, doch bei der Menge der einzelnen WEA's in manchen Parks müssen fast tägliche bzw. wöchentliche Fahrten unternommen werden.

Da es sich um Offshore-Parks handelt, ist mit großen Entfernungen von Land bis zur Farm zu rechnen. Manche Windparks sind innerhalb der 12-Seemeilenzone, manche in der AWZ. Die Strecke, die zurückgelegt werden muß, um die Farm zu erreichen, bzw. der von der Farm aus nächstgelegene Hafen, der solche Kapazitäten bietet, daß schweres Gerät, junger Besatz oder Ernte verladen werden kann, ist von großer Bedeutung. Folgende grob geschätzte Entfernungen kommen für beantragte Windparks in Frage:

Windpark 1	PROKON	33 sm bis Borkum
Windpark 2	PLAMBECK	37 sm bis Borkum
Windpark 3	ENERGIEKONTOR	35 sm bis Borkum
Windpark 4	GEO	43 sm bis List auf Sylt
Windpark 5	BUTENDIEK	24 sm bis List auf Sylt
Windpark 6	WINDLAND	18 sm bis Helgoland

Windpark 7 WINKRA	30/26/18 sm bis Helgoland (3 Cluster)
Windpark 8 RENNERT	20 sm bis Helgoland oder Amrum
Windpark 9 WKN	11 sm bis Helgoland
Windpark 10 ENERGIEKONTOR	10 sm bis Wangerooge
Windpark 11 ENERGIEKONTOR	86 sm bis Helgoland
Windpark 12 WINKRA	11 sm bis Helgoland

Dabei muß beachtet werden, daß alle nächstgelegenen Häfen sich auf Inseln befinden können. Das würde bei dem Abtransport bedeuten, daß noch ein weiterer Weg zurückgelegt werden muß, um die marktfähigen Güter sicher an Land zu bringen und über angeschlossenen Verkehrswege in die Verarbeitungsbetriebe bzw. zum Endverbraucher zu transportieren. Ferner ist nicht sicher, ob in diesem Falle auch immer eine Verloaderampe für das Be- und Entladen vorhanden ist (Abb. 41). Einige der genannten Inseln verfügen über einen Hafen, der für die benötigten Zwecke genutzt werden kann. Als Häfen auf dem Festland bieten sich Wilhelmshaven, Emden, Cuxhaven, Bremerhaven, Dagebüll oder Husum an. Dabei ist zu beachten, daß die Windparkbetreiber ihre Versorgungsstationen nur an



Abb. 41 Verladestation in Südspanien. Die Ernte kann sofort auf Lkws verfrachtet und über günstige Verkehrsanbindung zum nächsten Abnehmer transportiert werden. Nach BEAZ (2001)

Landhäfen und nicht auf Inseln aufbauen werden (ÖVERMÖHLE, pers. Komm.). In all diesen Städten ist die Verkehrsanbindung ausreichend. Emden profitiert durch die Nähe zu den Niederlanden, was sich auf die Kosten des Exports von Miesmuscheln auswirken würde. Hier könnten gegebenenfalls

auch holländische Häfen direkt angelaufen werden. Dagebüll verfügt neben der Anbindung mit Straßen auch über einen Bahnhof mit Güterverkehrsanschluß. Wilhelmshaven, Cuxhaven und Bremerhaven sind mit allen erforderlichen Verkehrsanschlüssen ausgestattet.

Bei den größeren Windparks sind Notunterkünfte auf Plattformen in Planung, jedoch erlauben diese keine geplanten Langzeitaufenthalte. Eventuell könnten solche Stationen auch für Aquakulturprojekte genutzt werden. Neben einer sicheren Unterkunft im Notfall würde sich eventuell auch die Möglichkeit bieten, Equipment zu verstauen, zeitlich hochauflösendes Monitoring durchzuführen sowie über einen ständigen Stromanschluß zu verfügen.

Die Sicherheit der Anlagen ist durch diese theoretische Studie schwer einzuschätzen. Man muß hierbei vor allem unterscheiden, ob man über die mechanische Sicherheit der Anlage spricht, oder über die Sicherheit sich verirrender oder durch die Schwingung der WEA's angelockter Säuger. Bezüglich der Sicherheit gegenüber der Wellenkraft sind an dieser Stelle wenig Aussagen möglich, da solch ein Projekt weltweit das erste dieser Art sein würde und diesbezüglich keine Erfahrungen vorhanden sind. Wahrscheinlich kann aber eine gut konzeptionierte Anlage der Wellenkraft gut widerstehen, wenn sie an den Pylonen der WEA's verankert ist. Allgemein sind die Verankerungen im Offshore-Bereich das entscheidende Kriterium, ob eine Farm bestehen kann.

Die Sicherung der Anlage gegenüber dem Schiffsverkehr erfolgt nach Seeanlagenverordnung (SeeAnIV). Ferner ist von der BSH Hamburg geplant, die Windparks als Sperrgebiet auszuweisen.

Weiterhin ist zu überlegen, ob die Anlage auch gegenüber Unbefugten gesichert werden muß. Erfahrungen in Asien und den USA machen diesen Schutz erforderlich, denn der Besitz einer Anlage, die Anlage selber bzw. das installierte technische Gerät stellen einen hohen Wert da. Ferner muß in Betracht gezogen werden, daß die durch den Verlust an Fischgründen aufgebrachten Fischer eine Gefahr für den Besitz darstellen könnten. Anlagen in Asien sind nicht selten von Unbefugten mutwillig zerstört oder beschädigt worden. Gerade ein Offshore-Betrieb läßt sich aufgrund der großen Entfernung von Land trotz

einer guten Bewachung schlecht erreichen und machen schnellen Handlungsbedarf unmöglich.

Gespräche mit den Windparkbetreibern haben ergeben, daß die Parks mit Videokameras und Radargeräten überwacht werden sollen. Es gibt zusätzlich Meldeanlagen, die bei Annäherung von Schiffen Warnsignale ausstoßen. Eine Kombination dieser Anlagen scheinen für die Sicherheit der Aquakulturanlage als ausreichend.

Als Sicherheit gegenüber Säugern bietet sich der Einsatz von akustischen Signalen an, wie das System einer mit einem Sender ausgestatteten Transmitterboje (siehe Teil I, Kap. 5.1, Abb. 21).

Überwachungsanlagen dieser Art sind kostspielig. Alle sind, bis auf die Transmitterboje, in Deutschland erhältlich. Die Transmitterboje kann über das *Aquaculture Information Center* - DOC/NOAA bezogen werden (PAUL, 1999). Es sollten zur Kostenersparnis Verhandlungen mit den Windparkbetreibern geführt werden, ob die vorhandenen Systeme vielseitig genutzt werden können.

Gekoppelt mit dem Sicherheitssystem sollten auch Instrumente für ein Monitoringprogramm installiert werden, damit ständig über die Bedingungen vor Ort sowie über den Zustand der Anlage bzw. des Besatzes Informationen vorliegen. Daten wie Temperatur, Salinität, Chlorophyllgehalt und ozeanographische Parameter können so einer ständigen Kontrolle unterliegen. Systeme dieser Art sind ähnlich wie Sicherheitsanlagen kostspielig, aber im AWI verfügbar.

5.2 Zusätzlich benötigte Infrastruktur vor dem Ausbringen des Besatzes

Hierbei handelt es sich um Equipment und Einrichtungen, die nicht der ständigen Benutzung unterliegen und insbesondere für die Zucht von Larven oder Sporen benötigt werden. Weiterhin handelt es sich um notwendige Infrastruktur und technisches Gerät, um die zu kultivierenden Organismen zur Aquakulturanlage zu bringen.

Für die Beschaffung der *Mytilus*-Larven wird sehr wenig Equipment benötigt. Leinen, die als Kollektoren dienen, sind völlig ausreichend. Wenn die Muschel-larven bis zur Marktreife an Leinen gezüchtet werden sollen, dann müssen später die angesiedelten Larven auf andere Leinen umgesiedelt werden (beide Leinentypen siehe Teil II, Kapitel 3.1). Wichtig in diesem Zusammenhang ist, ob die Larven schon im Offshore-Gebiet „eingefangen“ werden sollen oder ob, zur Effizienzsteigerung, die Nähe bestehender Muschelbänke genutzt wird. Der Aufwand ist bei letzterer Methode zwar etwas größer, doch besteht die Möglichkeit, daß im Offshore-Bereich nur eine geringere Menge an Larven existiert. Dieses kann aufgrund des Datenmangels hier nicht im Vorfeld geklärt werden. Da Muschelbänke in den Watten liegen, können aufgestellte Kollektoren leicht bei Niedrigwasser ausgebracht bzw. wieder eingeholt werden. Hier ist allerdings die Genehmigungssituation gegenüber den technischen Aspekten vorrangig zu behandeln, da alle fast Wattgebiete Deutschlands Nationalparks sind. Weiterhin ist zu klären, ob diese Gebiete bei Hochwasser mit Schiffen erreicht werden können und ob von Land aus eine gute Anbindung an das Transportnetz existiert.

Für die Beschaffung von Larven aus Zuchtbetrieben würde sich die Firma *SEUS Biotechnik* aus Wilhelmshaven anbieten, die sich auf die Produktion und anschließende kommerzielle Vermarktung von Muschellarven spezialisieren will. Eine weitere Möglichkeit wäre die Beschaffung von Jungmuscheln von lokalen Fischern mit speziellen Fang-Lizenzen. Es ist allerdings anzunehmen, daß die lokalen Fischer zunächst einmal ihre eigenen Bänke mit Muscheln bestücken werden und nur im Falle eines Jungmuschelüberschusses diese Dritten zur Verfügung stellen.

Austernlarven zu züchten ist eine aufwendigere Aufgabe. In der Regel spezialisieren sich Betriebe entweder auf die Zucht der Larven oder auf die eigentliche Kultivierung bis zur Marktreife. Beide Tätigkeiten werden selten von einem einzigen Betrieb durchgeführt. So bezieht die Firma *Dittmeyer* die Jungaustern (Länge = ca. 1,5 cm) von einer Firma aus England und züchtet auf Sylt diese bis zur Marktreife.

Bei der Beschaffung von genügend Sporen für die Zucht von Makroalgen kann der Aufwand nicht nur größer sein, sondern erfordert auch neben einem Labor Tankssysteme an Land. Das Labor muß neben der gängigen Ausrüstung über einen Kühlraum verfügen und genug Platz aufweisen, um die benötigte Menge an Sporen für die Kultur zu erzeugen.

5.3 Zusätzlich benötigte Infrastruktur für die Ernte und die Behandlung der Ernte

Bei der Muschel- oder Algenernte werden größtenteils die Ausrüstungselemente der „ständig benötigten Infrastruktur“ gebraucht. Darüber hinaus ist der Arbeitsaufwand insgesamt über den Abwachszeitraum gestiegen, so daß nun mehr Arbeitskräfte benötigt werden.

Für die Zwischenhälterung an Land werden Hälterungssysteme benötigt, die groß genug sein müssen, um die gesamte Ernte aufnehmen zu können. Dort verbleiben sie je nach Nachfrage oder Aufbereitungszeit für einige Tage bis Wochen.

Ein wichtiger Aspekt ist die Säuberung der Ernte. Dafür wurden sowohl für Muscheln, als auch für Algen spezielle Maschinen entwickelt, die je nach zu verarbeitender Menge in ihren Ausmaßen variabel sind. Im Falle der Miesmuschelernte kann auf die herkömmliche Wässerung von einigen Wochen verzichtet werden, da Offshore-Muscheln frei von Sand sein werden.

Die Ernte muß dann je nach Bedarf verpackt und an den Abnehmer bzw. an eine weiterverarbeitende Industrie verschickt werden können. Dazu werden Packmaschinen und –material benötigt. Soll die Ernte direkt verarbeitet werden, würde sich der oben erwähnte Hafen von Dagebüll eignen, da sich dort in unmittelbarer Nähe die Firma *Delta Muschel* befindet. Etwas entfernt, in Emmelsbüll-Horsbüll, gibt es die *Royal Frysk Muscheln GmbH*, in Wyk auf Föhr die Firma *Leuschel* sowie die *Meulbroek & Co KG*. Alle Firmen haben Lizenzen, um Miesmuscheln zu kultivieren bzw. die Verarbeitung dieser durchzuführen. Fol-

geindustrien dieser Art sind in Niedersachsen nicht vorhanden, da die dort geernteten Muscheln generell sofort weiter nach Holland exportiert werden.

Zum Schluß soll noch erwähnt werden, daß im Winter die Gefahr eines Eisganges besteht. In solchen Fällen muß eine Farm in andere Gebiete transportiert werden bzw. abgebaut und der Besatz in sichere Tanksysteme an Land transportiert werden. Dafür werden große Tankkapazitäten benötigt, damit alle Zuchtorganismen gut untergebracht werden können.



Teil III

Marktabschätzung/-analyse und Kosten für die aus Teil II geeigneten Kandidaten

Wirtschaftlichkeit (Marktwert, Transport- und Zuchtkosten, Nachfrage, kommerzielle Nutzbarkeit); Kosten der Anlagen und der zu kultivierenden Organismen

1.0 Marktanalyse

Zu den wirtschaftlichen Grundlagen einer Marktanalyse gehören Kenntnisse über die Wechselwirkungen von Angebot und Nachfrage, welche Märkte angesprochen werden können sowie Informationen über Konkurrenzsituationen und regulative Mechanismen der Marktumgebung. Hier werden kurz die Mechanismen für die Preisentwicklung dargestellt.

Generell befindet sich ein Markt im Gleichgewicht, wenn sich das Angebot und die Nachfrage im Einklang befinden und sich somit ein Gleichgewichtspreis („Equilibrium Preis“) für ein bestimmtes Produkt einstellt (MUIR & VLAMINK, 2001). Sobald Angebot oder Nachfrage sich verändern, wird sich auch das Preisgleichgewicht positiv oder negativ verschieben. Die Ursachen für die Verschiebung der Angebotskurve können recht vielfältiger Natur sein, so z.B. durch eine Effizienzsteigerung, niedrigere Lohnkosten, niedrigere Rohmaterialpreise, Entwicklung neuer Produktionskapazitäten mit anderen sich entwickelnden Kosten, Einfuhrstops oder dem Aufkommen von toxischen Algenblüten.

Im allgemeinen läßt sich feststellen, daß, wenn das Angebot bei gleichbleibender Nachfrage steigt, dies einen Preisverfall nach sich zieht und mehr ge- und verkauft wird. Entsprechend wird der Preis für ein Produkt ansteigen, wenn weniger ge- und verkauft wird. Das Angebot läßt dann nach.

Was das Management einer Anlage anbetrifft, bedeutet dieses Wechselspiel von Angebot und Nachfrage nicht automatisch, daß bei einem Preisverfall notwendigerweise auch eine Stimulierung der Nachfrage erfolgt. Es ist vielmehr notwendig, die Hintergründe von Preisverschiebungen und Angebot zu kennen, um sich für eine angemessene Managementstrategie zu entscheiden.

Für den Erfolg einer Anlage sind neben dem reinen betriebswirtschaftlichen Management verschiedene Faktoren wichtig, welche nachfolgend in interne und externe Einflußfaktoren unterschieden werden. Bei den internen Einflußfaktoren sind neben den Verkäufen, die von der geographischen Lage und Art des Kunden, sowie des Produktes abhängen, auch die Produktqualität und die Ver-

kaufsstrategie wichtig. Zu letzterem gehört neben dem Preis und der Verteilung auch die Art und Form der Werbung. Bei den externen Einflußfaktoren können Inflation, aggregierende Wachstumsraten und Ressourcenknappheit von Bedeutung sein. Gesetzesänderungen und Änderungen im Handel und in der Arbeitspraxis können auch einen weitreichenden Einfluß auf den wirtschaftlichen Erfolg einer Anlage haben. Hierunter fallen auch sozio-ökonomische und kulturelle Faktoren wie demographische Änderungen, Änderungen des „life style“ sowie Veränderungen der Einkommensmuster einer Zielgruppe.

Ein Schlüsselement bei der Offshore-Aquakultur sind die Investitionskosten, die bei der Errichtung der Produktionsanlage anfallen sowie die nachfolgenden laufenden, betriebswirtschaftlichen Kosten für Produktion und Erhaltung der Produktionsfähigkeit der Anlage. Nachfolgend wird versucht, mit aktuellen Literaturdaten eine Abschätzung über die Kosten einer Aquakulturanlage durchzuführen. Es sei darauf hingewiesen, daß die derzeitigen wirtschaftlichen Erfahrungen in diesem geographischen Raum noch begrenzt sind.

Nach einem kurzen Abriss über die aktuelle marktwirtschaftliche Situation der Off-shore-Aquakultur in einer globalen Perspektive werden anschließend Beispiele im europäischen Raum analysiert und hieraus wirtschaftliche Implikationen für den Raum Nordsee abgeleitet.

1.1 Globalwirtschaftliche Tendenzen des Fisch- und Muschelkonsums

Im globalen Maßstab hat der Fischkonsum pro Kopf weltweit seit 1970 mit 10,9 kg pro Kopf und Jahr auf derzeit 13 kg pro Kopf und Jahr kontinuierlich zugenommen (JOSUPEIT, 1996). In dieser Zahl ist der Konsum von Fisch und Muscheln zusammengefaßt. Jedoch kann dieses Konsumverhalten der Bevölkerungen nach geographischer Lage und Wirtschaftsgruppe großräumig unterschieden werden. So lag in den Entwicklungsländern der pro Kopf Verbrauch bei 9,4 kg (Stand 1990), während der Verbrauch in den westlichen Industrienationen 26,1 kg (Stand 1990) betrug. Hierbei liegen die Mitglieder der westeuro-

päischen Staatengemeinschaft mit einer Konsumrate von 22,2 kg vorne, gefolgt von den U.S.A. und Kanada von rund 20 kg·Kopf⁻¹·Jahr⁻¹. Am bemerkenswertesten ist jedoch Japan mit einem Verbrauch von über 70 kg·Kopf⁻¹ und Jahr in dieser Gruppe. Durch den starken Rückgang der lokalen Fischereierträge beginnt Japan derzeit in immer stärkeren Maße Fisch zu importieren (JOSUPEIT, 1996). Den weltweit höchsten Verbrauch pro Einwohner findet man derzeit allerdings auf den Malediven mit 130 kg·Jahr⁻¹ statt. Dieser hohe Wert beruht auf der Tatsache, daß Fisch die einzige Nahrungsquelle ist, die nicht importiert werden muß und daher als ständig vorrätiges und billiges Produkt für die Ernährungssicherung der lokalen Bevölkerung von entscheidender Bedeutung ist.

Nach JOSUPEIT (1996) müßte der globale Fisch- und Muschelfang bis 2010 um 95 Mio. Tonnen zunehmen, um die derzeitige Nachfragetendenz abdecken zu können. Eine Gefahr einer weltweiten Überfischung der natürlichen Fisch- und Muschelbestände würde sich durch diesen augenblicklichen Trend deutlich erhöhen. Vergleicht man diesen weltweiten Trend mit der Entwicklung in der Aquakultur, so kann man mehr als eine Verdoppelung der Produktion von 7 Mio. auf 16,3 Mio. Tonnen in dem Zeitraum von 1984 bis 1993 feststellen. Das heißt, daß der globale Anteil am Gesamtkonsum aus der Aquakultur bei rund 2 kg·Kopf⁻¹ und Jahr liegt (JOSUPEIT, 1996). Diese Zahlen umfassen sämtliche Formen der Aquakultur.

1.1.1 Der europäische Raum

Die europäische Wirtschaft ist unmittelbar in die internationalen Handelsbeziehungen und damit auch in Handelsregulationen eingebunden. Dazu gehört das GATT-Abkommen⁴ (*General Agreement on Tariff and Trade*), welches auch den Meeresproduktionssektor regelt. Für den Bereich der Meeresprodukte bedeutet dieses, daß eine Regulierung des Marktes durch die Senkung oder komplette Abschaffung von Ein- und Ausfuhrzöllen innerhalb der multilateralen Handels-

⁴ Das erste GATT-Abkommen wurde 1947 abgeschlossen und seither immer wieder in seinem Inhalt erweitert und modifiziert (FILHOL, 1996).

beziehungen stattgefunden hat. Trotz der Bemühungen um eine globale Vereinheitlichung und damit Erleichterung der Handelsbeziehungen bleibt derzeit die Tarifstruktur auf Fisch und anderen Meeresprodukten auf dem gesamten Weltmarkt jedoch äußerst heterogen (FILHOL, 1996).

Gleichzeitig wurde im GATT-Abkommen als Ergebnis der *Uruguay Runde* um die Verhandlungen der multilateralen Handelsbeziehungen im Jahre 1995 die Einführung von internationalen Standards, unter anderem auch in der Aquakultur, vereinbart. Diese schreiben vor, daß Herkunft, Zusammensetzung, Futterzusätze, Hygiene-Standards⁵ und andere Qualitätsfaktoren eingehalten werden müssen. Als Mitglied der FAO geht die EU diesen Weg noch weiter und bemüht sich derzeit um die Einführung des FAO *Code of Hygiene Practices for Aquaculture Products* sowie dem OIE (Office International des Epizooties) *International Aquatic Animal Health Code* (LIMA DOS SANTOS, 1996).

Durch den zukünftigen engeren Zusammenschluß auf dem europäischen Binnenmarkt wird die Einhaltung der oben genannten Standards vermutlich einen wichtigen Faktor bei den Bemühungen um Gewinnmaximierung aus Aquakulturanlagen sowie Rentabilitäten von Anlagen darstellen.

1.1.2 Der mediterrane Wirtschaftsraum

Bislang ist die Offshore-Aquakultur (nach McELWEE [1998] eher Coastal Aquaculture) im Mittelmeerraum stark entwickelt worden. Dies hängt nicht zuletzt mit der naturräumlichen Vorzugsstellung dieses Raumes zusammen. Die Küste des Mittelmeerraumes hat eine Vielzahl von kleinen, geschützten Buchten. Weiterhin sind hier Stürme und hoher Wellengang im Vergleich zur Nordsee seltene Ereignisse. Zusätzlich ist die räumliche Nähe zu einer Vielzahl von potentiellen wirtschaftlichen Absatzmärkten wie Italien, Spanien, Frankreich, Griechenland, etc. vorteilhaft.

⁵ Hierzu gehört auch die Anerkennung des internationalen HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) Programmes, welches seit 1970 Prozeduren entlang kritischer Punkte innerhalb der Verarbeitungskette überwacht und damit einen Beitrag zu den internationalen ISO 9000 Qualitätsstandards liefert (FILHOL, 1996).

Es soll nachfolgend versucht werden, die wesentlichen Charakteristika von Angebot und Nachfrage von Meeresprodukten aus Mittelmeeranrainerstaaten innerhalb der EU darzustellen. Die aktuellen Konsumraten, Hintergründe des externen Marktes, Marktstruktur und Verteilungskanäle werden hier kurz aufgezeigt. Es sei an dieser Stelle allerdings auf die unsichere Datengrundlage für diese marktwirtschaftliche Analyse hingewiesen. Neben Unsicherheiten bezüglich der Anlandungsstatistiken der einzelnen Mitgliedsstaaten kommt erschwerend die Einführung des europäischen Binnenmarktes hinzu, welche die externe Handelsstatistiken der einzelnen Staaten verschoben hat. Weiterhin unterscheiden sich die Datenbanken der FAO, Surialink, Eurostat und der Informationsblätter der EU (Statistik kurz gefaßt).

In Frankreich besitzt laut PARQUOTTE & GUILLARD (1996) derzeit die Aquakultur eine Produktion von ca. 300.000 Tonnen·Jahr⁻¹, wobei Austern, Muscheln und Süßwasser-Forellen die Hauptproduktionszweige darstellen. Der Konsum von Meeresprodukten ist in den letzten 10 Jahren in Frankreich kontinuierlich gewachsen und liegt derzeit bei 18 kg·Kopf⁻¹·Jahr⁻¹.

In Griechenland haben Aquakulturanlagen in den letzten Jahren rapide zugenommen, nicht zuletzt aufgrund von Limitierungen der Fischereiquoten durch die EU. Im Jahre 1993 wurden in Griechenland 30.000 Tonnen Brassen, Barsche und Muscheln produziert (ZANOÜ, 1994). Augenblicklich reichen die einheimischen Anlandungen nicht aus, um die gesteigerte Nachfrage nach Meeresprodukten abzudecken. Es werden daher jährlich rund 55.000 Tonnen Meeresprodukte von Griechenland importiert. Wie in Frankreich, beträgt auch hier der Konsum rund 18 kg·Kopf⁻¹·Jahr⁻¹.

In Italien konsumiert man 16-18 kg an Meeresprodukten pro Kopf und Jahr. Die einheimische Fischereiflotte ist eher kleinräumig ausgerichtet. Die Aquakulturproduktion erreicht allerdings 180.000 Tonnen im Jahr, wobei der Schwerpunkt auf der Produktion von Muscheln, Brassen, Barschen und Forellen liegt. Die Preise für Meeresprodukte sind in Italien in dem letzten Jahrzehnt zurückgegangen. Hauptursache war hierfür die wirtschaftliche Rezession und das Auftauchen von Cholera im Distrikt um Bari im Jahre 1994, welches zu einem

deutlichem Nachlaß in der Nachfrage nach frischen Meeresprodukten geführt hat (PARQUOTTE & GUILLARD, 1996). In neuerer Zeit hat allerdings besonders in Norditalien der Verzehr von hochwertigen Meeresprodukten in Restaurants an Bedeutung gewonnen. Dennoch bleibt der Anteil am Massenmarkt und der weiträumigen Verteilung von Meeresprodukten in Italien eher gering.

Mit mehr als 40 kg im Jahr liegt der Pro-Kopf-Verzehr von Meeresfrüchten in Portugal in Bezug auf den gesamten mediterranen Raum am höchsten. Seit Beitritt in die EU im Jahre 1986 ist jedoch die Fischereiflotte von Portugal um mehr als 20 % reduziert worden, während Anlandungen sogar um 30% zurückgegangen sind. Ursächlich hierfür sind die Fischereiquotenregelungen der EU, die gerade die industrielle Fischereiflotte von Portugal stark negativ getroffen hat. Nicht zuletzt hat sich hieraus das Handelsdefizit von Portugal in den letzten 3 Jahren deutlich verschlechtert (PARQUOTTE & GUILLARD, 1996). Bislang gibt es allerdings noch keine ausgeprägten Bemühungen, dieses Haushaltsdefizit durch die Entwicklung von Aquakulturanlagen zu kompensieren. Die gegenwärtige Produktion liegt bei rund 5.000 Tonnen pro Jahr. Über die Gründe hierfür kann an dieser Stelle nur spekuliert werden. Die traditionell tiefe Verankerung der Bevölkerung mit der Hochseefischerei sowie naturräumliche Benachteiligungen des atlantischen Küstenraumes im Vergleich zu den geschützteren Gebieten im Mittelmeer mögen eine weitreichende Etablierung der Aquakultur in Portugal bislang verhindert haben.

Auch in Spanien liegt der Pro-Kopf-Verbrauch mit $32 \text{ kg} \cdot \text{Kopf}^{-1} \cdot \text{Jahr}^{-1}$ über dem EU-Durchschnitt (PARQUOTTE & GUILLARD, 1996). Hier hat die Quotenregelung der EU dazu geführt, daß sich aufgrund einer starken Importzunahme von Meeresprodukten - um die Nachfrage des einheimischen Marktes abzudecken - das Handelsdefizit im Bereich Fischerei dramatisch verschlechtert hat. Die Anlandungen aus dem Aquakulturbereich liegen bei derzeit rund 200.000 Tonnen pro Jahr.

Vergleicht man nun die verschiedenen Märkte der südlichen EU Staaten in Hinblick auf ihren wirklichen Verbrauch, so ergibt sich folgendes Bild (Tab. 8). Der wirkliche Gesamtverbrauch beinhaltet die Gesamtproduktionsmenge an Mee-

resprodukten. Hierbei sind neben der Fischerei und der Aquakultur auch die Importe abzüglich der Exporte enthalten. Sämtliche Anlandungen wurden berücksichtigt, auch wenn sie nicht unmittelbar als Nahrungsmittel genutzt werden, wie z.B. Anteile aus der Fischmehlproduktion. Die Disparitäten im Pro-Kopf-Verbrauch von Meeresprodukten in diesen Ländern können eher auf die nationalen kulturell bedingten Eigenheiten des Verbrauchers zurückgeführt werden, als auf rein marktwirtschaftliche Faktoren.

Tab. 8 Wirklicher Gesamtverbrauch von Meeresprodukten im Jahre 1993. Modifiziert nach FAO, CFCE, IFREMER, Greek Ministry of Agriculture, L' état du monde und PARQUOTTE & GUILLARD (1996)

	Spanien	Frankreich	Italien	Portugal	Griechenland
Fischerei	1.090000	615.000	420.000	270.000	143.000
Aquakultur	200.000	300.000	180.000	5.000	30.000
Import	993.000	700.000	700.000	274.000	54.000
Export	-353.000	-351.000	-100.000	-74.000	-27.000
Total	1.930000	1.264000	1.200000	475.000	200.000
Bevölkerung (Mio.)	39	58	58	10	10
Pro Kopf·Jahr ⁻¹ (kg)	49	22	21	48	20

Das Marktangebot durch die nationale Wirtschaftsproduktion von Meeresprodukten variiert stark zwischen den Mittelmeerländern, erreicht aber immer eine Abdeckungsrate von über 50 % (50 % in Italien, 58 % in Portugal, 67 % in Spanien, 73 % in Frankreich und 86 % in Griechenland) (PARQUOTTE & GUILLARD, 1996). Der Anteil der Aquakultur im nationalen Angebot ist bedeutsamer in den Ländern, welche eine traditionell verankerte und wichtige Muschelkultur besitzen (Frankreich mit 30 % Anteil, Italien 30 % und Spanien 20 %). Insgesamt läßt sich eine Zunahme des Gesamtkonsums in diesen Staaten seit der Einfüh-

rung der AWZ im Jahre 1977 feststellen. Außer in Spanien spielen Importe von Meeresprodukten in allen oben genannten Staaten im gesamtwirtschaftlichen Importhandel keine wesentliche Rolle.

Analysiert man nun die Nachfrage und die Verteilungskanäle für Meeresprodukte unter Berücksichtigung des wirklichen Konsums in den Einzelhaushalten und Versorgungsbetrieben, dann stellt man eine negative Verschiebung der Netto-Verbrauchsrate pro Kopf und Jahr fest. Ursächlich hierfür ist der Ausschluß von Meeresprodukten, die nicht zum Nahrungsmittelverzehr genutzt werden wie Fischmehl- und Fischölprodukte. So liegt in Spanien der wirkliche Verbrauch in den Einzelhaushalten bei 32 kg·Kopf⁻¹ und Jahr im Vergleich zur Gesamtproduktion von 49 kg im Jahre 1993 (PARQUOTTE & GUILLARD, 1996). Dieses unterstreicht die wirtschaftliche Bedeutung der Fischmehl- und Fischölproduktion in der Gesamtproduktionsmenge dieses Wirtschaftszweigs.

Bei der wirtschaftlichen Verteilung der Meeresprodukte im nationalen Handelsnetz nehmen gerade die Supermärkte (besonders in Frankreich) eine immer wichtigere Rolle in allen südlichen EU Staaten ein. Insgesamt läßt sich beobachten, daß gerade in Italien, Frankreich und Spanien der Verzehr von frischen Muscheln aus Aquakulturbetrieben in den Einzelhaushalten sehr ausgeprägt ist. Dennoch ist vom qualitativen Standpunkt aus gesehen die Marktdurchdringung von Aquakulturprodukten in den einzelnen Ländern unterschiedlich (PARQUOTTE & GUILLARD, 1996). Bislang können hierzu allerdings aufgrund der schwachen Datengrundlage keine genauen Angaben gemacht werden.

1.1.3 Der nicht-europäische mediterrane Wirtschaftsraum

Zur Abrundung sei noch erwähnt, daß die südlichen Mittelmeerstaaten, insbesondere Algerien, Israel, Marokko und Tunesien, Exporteure für Crustaceen und Mollusken aus Aquakulturbetrieben sind. Südliche Mittelmeerstaaten, welche Crustaceen und Mollusken aus Aquakulturbetrieben importieren, sind Ägypten, Malta und Syrien, (ABOUHALA & BOUKABOUS, 1996).

1.1.4 Der nordeuropäische Wirtschaftsraum

In diesem Abschnitt wird das Hauptaugenmerk auf die nördlichen Mitgliedsstaaten der EU gerichtet. Eine Eingrenzung des geographischen Raumes erfolgt durch den Ausschluß der ehemaligen Ostblockstaaten im baltischen Raum und Norwegen. Dennoch bleibt die Schwierigkeit bestehen, daß trotz der Einführung des europäischen Binnenmarktes die wirtschaftliche Grundstruktur der einzelnen EU-Mitgliedstaaten im nordeuropäischen Raum äußerst heterogen ist. Daher wird versucht, auf eine Synthese der derzeitigen Trends im Konsum von Aquakulturprodukten hinzuarbeiten, statt auf eine Quantifizierung von eher willkürlich erscheinenden Mengenangaben abzielen.

In fast allen nordeuropäischen Mitgliedstaaten läßt sich ein kontinuierlicher Pro-Kopf-Verbrauch an Meeresfrüchten beobachten. Die Schätzungen gehen von einer 20 %-igen Wachstumsrate über die letzten 20 Jahre aus. Der durchschnittliche Konsum liegt bei $17.7 \text{ kg} \cdot \text{Kopf}^{-1}$ und Jahr (YOUNG & MUIR, 1994). Die Produktzusammensetzung kann allerdings sehr variieren, zum einem international, aber auch regional innerhalb nationaler Grenzen. So liegt der Pro-Kopf-Verbrauch von Meeresprodukten im norddeutschen Raum bei rund $30 \text{ kg} \cdot \text{Jahr}^{-1}$, während der Verbrauch in Süddeutschland unter $10 \text{ kg} \cdot \text{Jahr}^{-1}$ beträgt (YOUNG, 1996).

Es muß hier erwähnt werden, daß bislang bei der Feststellung des Pro-Kopf-Verbrauchs im Vergleich zum Wildfang kultivierte Meeresprodukte innerhalb der gesamten Branche einen eher geringen Marktanteil besitzen. Dennoch nimmt der Marktanteil an Aquakulturprodukten am Gesamtmarkt beständig zu. So haben Fischprodukte aus Aquakulturanlagen in Deutschland in den letzten Jahren über 50 % am Marktanteil gewonnen (EUROSTAT in YOUNG, 1996). Hierbei muß beachtet werden, daß generell Aquakulturprodukte auf Nischenfindung im Markt abzielen und nicht *per se* für den Massenmarkt produziert werden. Durch die Fokussierung auf solche Nischen wird versucht, hochwertige Ware, sogenannte „high value“, zu produzieren. Dies geht einher mit einer Begrenzung der Verbraucherbasis und damit den Mengen, die verzehrt werden können. Daher

muß bei einer Betrachtung der wirtschaftlichen Rentabilität von Aquakulturprodukten eine Analyse der verschiedenen in Betracht kommenden Arten erfolgen. Generell ist festzustellen, daß ein etabliertes Aquakulturprodukt auf dem Markt jährlich mit 150.000 Tonnen produziert werden muß. Weiteres Wachstum über diese Menge hinaus würde eher auf die Entwicklung eines neuen Produktes abzielen, als eine Expandierung der bereits bestehenden „traditionellen“ Produktpalette nahelegen (MONFORT, 1994). Demnach ist es für den Produzenten wichtig, eine klare Idee von den wirtschaftlichen Marktverknüpfungen und –entwicklungen zu bekommen, um so die zukünftigen wirtschaftlichen Verbrauchermuster adäquat einschätzen zu können (YOUNG, 1996). Hierbei können für den nordeuropäischen Raum einige Schlüsseldeterminanten im Verbraucherverhalten festgestellt werden. So hat das Gesundheitsbewußtsein im Lebensmittelkonsum der Endverbraucher innerhalb der Verbrauchergruppen der europäischen Gemeinschaft in den letzten Jahrzehnten sehr an Bedeutung gewonnen. Insbesondere Meeresprodukte haben von diesem Trend profitiert, da sich besonders Fischfleisch mit seinem niedrigen Fettanteil positiv auf Herzkrankheiten auswirkt. Dennoch bleiben bis heute negative Vorurteile gegenüber dem Verzehr von Meeresprodukten bestehen, welche sich von Land zu Land stark unterscheiden können. Dieses reflektiert die Vielfalt von sozialen und kulturellen Einflüssen, welche die derzeitig vorhandenen Verbrauchermuster beeinflussen. So sind die Konsumenten insbesondere im nicht-mediterranen europäischen Raum weniger tolerant gegenüber dem „Gesamt-Konzept Fisch“ (YOUNG, 1996). Das beinhaltet z.B. die Aversion gegen Kopf, Augen und Gräten, die zwangsläufig mit dem Fischverzehr verbunden sind. Dieses stellt besondere Herausforderungen an die Aquakultur, wenn zukünftige Expansionsbemühungen auf den weiteren Massenmarkt abzielen. Als weiterer Aspekt kommt das wachsende Umweltbewußtsein der Verbraucher hinzu, die den hohen Anteil an Medikamenten, wie z.B. Antibiotika, oder das Anfallen von Abfällen in einer Kulturanlage als nachteilig für die Qualität des Endprodukts empfinden. Gleichzeitig sind die negativen Folgen durch den Anlagenbetrieb in Hinblick auf die Unversehrtheit der marinen Umwelt in das Bewußtsein einer breiten Öffentlichkeit gerückt.

Lösungsstrategien, welche auf die oben aufgeführten Probleme abzielen, sind vielfältig. So gibt es Bemühungen, Meeresprodukte in einem bestimmten Grad zu transformieren und dabei gleichzeitig den marktwirtschaftlichen Wert zu steigern, bzw. in den Augen des Verbrauchers den Wert zu erhöhen. Das hat zu der Einführung von kopflosen Filets oder aus der Muschelschale gelöstes Muschelfleisch bis hin zu kompletten Fertiggerichten geführt. Gerade solche Strategien sind für das Aquakultur-Marketingmanagement von entscheidender Bedeutung, erlauben sie doch die Möglichkeit, durch die Einführung von günstigeren hochwertigen Meeresprodukten und die Erweiterung der Produktpalette zusätzlich Gewinne zu erzielen. Gleichzeitig kann somit gezielteres Produktmarketing in Form von Werbung erfolgen, z.B. durch die Nutzung eines bestimmten, einprägsamen Produktlabels, welches bei dem Verkauf eines unbehandelten Meeresproduktes so nicht möglich wäre (PEDOL, 1996). Großhandelsketten haben im Vergleich zu dem spezialisierten Einzelhandel in diesem Geschäftszweig deutlich an Marktanteilen gewonnen. So besitzen Großhandelsketten in Deutschland, Irland, Großbritannien und Frankreich einen derzeitigen Marktanteil von 30 % - 50 % (EUROMONITOR, in YOUNG, 1996). Dies hat zwar als negative Auswirkung eine rapide Marginalisierung von traditionellen Meeresproduktverkäufen zur Folge, gleichzeitig schafft dieser Trend neue Möglichkeiten der Produktentwicklung und -verteilung aus Aquakulturanlagen. Allerdings ist bislang dieser neue strategische Ansatz in den meisten Aquakulturbetrieben im nordeuropäischen Raum nicht umgesetzt worden, sondern es wird eher auf die Zucht bestehender Nutzungsarten abgezielt, die dann in Konkurrenz mit den Wildfängen auf den Großmärkten stehen. Es ist fraglich, ob diese Strategie in Zukunft für die Aquakultur nachhaltig sein wird. Zur Zeit läßt sich anhand von Beispielen anderer Branchen feststellen, daß alternative Produktangebote durchaus adaptiert werden können (YOUNG, 1996). Eine Bewegung weg vom „Gesamt-Konzept Fisch“ könnte durchaus positive marktwirtschaftliche Impulse für den Aquakultursektor erzeugen. Bislang ist jedenfalls ein wesentlicher marktwirtschaftlicher Wettbewerbsvorteil von Aquakulturprodukten nur bedingt wahrgenommen worden. Die Möglichkeit, bei auftauchendem Bedarf sofort an den Großhändler liefern und die Produktpalette den jeweiligen Nachfragetrends

in einem gewissen Rahmen zügig anpassen zu können, bleibt oft aus. Als weiteres positives Element des Aquakulturbetriebes kann auch die Stationierung von Anlagen in Randregionen mit fehlenden sozio-ökonomischen Erwerbsalternativen gelten.

1.1.4.1 Implikationen für den Nordseeraum - Muschelwirtschaft in Deutschland

Fische und Meeresfrüchte spielen im Ernährungs- und Kaufverhalten der Verbraucher eine wichtige Rolle. Die Beschaffung dieser Meeresprodukte auf den Weltmärkten sowie die Sicherung der erforderlichen Menge stellt allerdings ein Problem dar, da die Eigenproduktion durch Fänge deutscher Fischereifahrzeuge und die Erzeugung aus Binnenfischerei und Aquakultur nur einen minimalen Teil des Gesamtbedarfs deckten (z. B. 17 % im Jahre 1999). Trotz des schlechten Zustands vieler Fischbestände ist auf dem Weltmarkt ein leicht wachsendes Angebot an Fisch und Fischereierzeugnissen zu erkennen, was nach FAO-Angaben vor allem aus der Aquakultur abgedeckt wird (BLE, 1999; siehe auch Anhang II).

Die im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer betriebene Miesmuschel- und Austernkultur ist ein Beispiel für eine optimale Strategie der maximalen, dauerhaften und damit nachhaltigen Nutzung natürlicher Potentiale. Miesmuscheln und Pazifische Austern eignen sich besonders für die Aquakultur, da ihre Entwicklung durch schnelles Wachstum, frühe Geschlechtsreife und ein hohes Fortpflanzungspotential gekennzeichnet ist. Eine Überfischung der Bestände ist nicht zu erwarten und aus ökonomischer Sicht nicht möglich (RUTH, 1997).

1.1.4.2 Versorgung der BRD mit Fischereierzeugnissen

Die Eigenproduktion an Fischereierzeugnissen ist seit 1980 nur relativ geringen Schwankungen unterworfen. Die Anlandungen im Ausland haben in den letzten

Jahren, ebenso wie Einfuhr und Ausfuhr eher eine steigende Tendenz (Abb. 42a) (BLE, 1999).

Inlandsanlandungen

Bei der Muschelfischerei im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer hat sich die Kulturfläche seit 1997 zwar etwas verkleinert (siehe Teil II, Kap. 4.1.2.1), insgesamt ist jedoch seit 1980 eine ansteigende Tendenz in der Anlandungsmenge zu beobachten. Die hier angelandeten Mengen unterliegen starken Schwankungen mit einem Minimum von 4.600 t (1994) und einem Maximum von 42.500 t (1992). Der Ertrag der Schleswig-Holsteinischen-Muschelfischerei ist je nach Anlandemenge sehr wechselhaft, zeigt aber insgesamt eine deutlich steigende Tendenz über die letzten 10 Jahre.

Die Menge der deutschen Eigenanlandungen stieg im Jahre 1999 im Vergleich zu den Vorjahren deutlich an, was vor allem auf das erhöhte Aufkommen von Krebs- und Weichtieren (8500 t mehr als 1998) beruhte (Abb. 42b). Insgesamt wurden 1999 50.836 t Krebs- und Weichtiere in der Bundesrepublik angelandet. Die Miesmuschelernte lag im selben Jahre bei etwa 37.900 t und damit 21 % über den Vorjahreswerten. Von der Gesamtmuschelernte stammten 56 % aus Schleswig-Holstein ($0,74 \text{ DM}\cdot\text{kg}^{-1}$) und 44 % aus Niedersachsen ($0,67 \text{ DM}\cdot\text{kg}^{-1}$), was einem Durchschnittspreis von $0,71 \text{ DM}\cdot\text{kg}^{-1}$ entspricht (Abb. 42c) (BLE, 1999). Der Gewinn aus der Muschelernte 1999 lag bei 27 Mio. DM und war damit rund 54 % höher als im Vorjahr (BLE, 1999).

Im Jahr 2000 sanken die Eigenanlandungen von Krebs- und Weichtieren im Vergleich zu 1999 allerdings um 27 %. Die angelandeten Miesmuschelmengen betragen etwa 24.000 t, also 36 % weniger als im Vorjahr (Abb. 42a). Die aus Schleswig-Holstein und Niedersachsen angelandeten Mengen waren insgesamt etwa gleich groß (BLE, unveröffentlicht). Der Mengenrückgang der Muscheln wurde zum einen durch den niedrigen Bestand auf den Kulturflächen zurückgeführt. Als wesentlicher Grund wurde die schlechte Nachwuchssituation auf den für die Besatzmuschelfischerei freigegebenen Wattflächen angesehen. Zum anderen wurde der Rückgang durch verstärkte Direktanlandungen im Ausland verursacht. Durch die Reduzierung des Eigenangebotes stieg der

Durchschnittspreis von Muscheln auf $1,19 \text{ DM}\cdot\text{kg}^{-1}$ an (Abb. 42c). Der erzielte Erlös erhöhte sich so um 1,7 Mio. DM auf rund 29 Mio. DM (BLE, unveröffentlicht).

In den ersten Monaten des Jahres 2001 stiegen die Preise für Muscheln, so daß im Mai diesen Jahres ein Preis von $2,37 \text{ DM}\cdot\text{kg}^{-1}$ erzielt wurde (BLE, 2001c). Die angelandeten Mengen lagen in den Monaten April und Mai nochmals deutlich unter den Werten des entsprechenden Vorjahreszeitraums (BLE, 2001b/c).

Auslandsanlandungen

Die deutschen Auslandsanlandungen sind seit 1999 insgesamt gestiegen. Der Anstieg der EU-Anlandungen ist unter anderem durch die verstärkten Anlandungen in den Niederlanden zu erklären, wo im Jahr 2000 8.588 t Miesmuscheln abgesetzt wurden (Preis: $1,17 \text{ DM}\cdot\text{kg}^{-1}$), die im Vorjahr nicht im Sortiment waren. Allerdings sei bei diesen Daten darauf hingewiesen, daß eine große Menge der Muscheln, die in den Exportzahlen für die Niederlande auftreten, später wieder bei dem Import der Muscheln aus den Niederlanden auftreten. Grund dafür ist, daß ein Großteil der Muscheln in Holland gewässert werden, um sie vom Sand zu befreien. Kurz, was Deutschland nach Holland verkauft, wird später wieder eingekauft.

In Dänemark wurden 1.137 t Muscheln angelandet (Preis: $1,30 \text{ DM}\cdot\text{kg}^{-1}$) (BLE, 2001a).

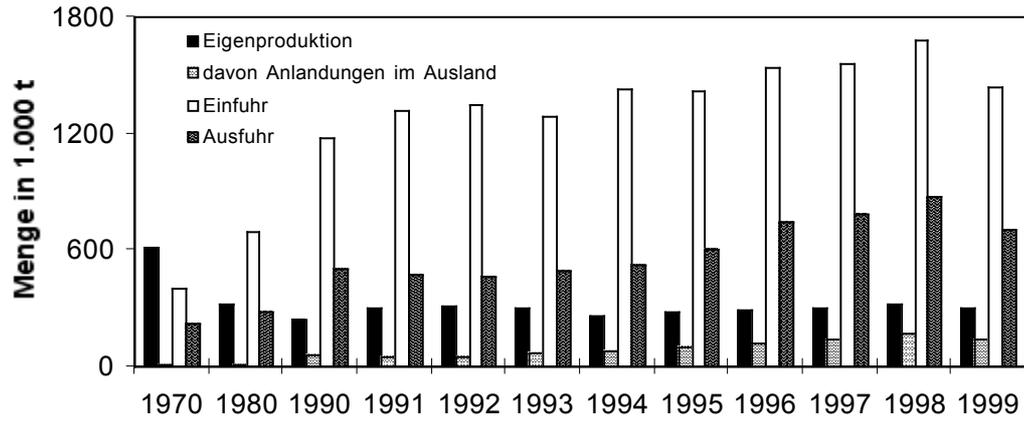


Abb. 42a Versorgung der BRD mit Fischereierzeugnissen. Nach BLE (2000)

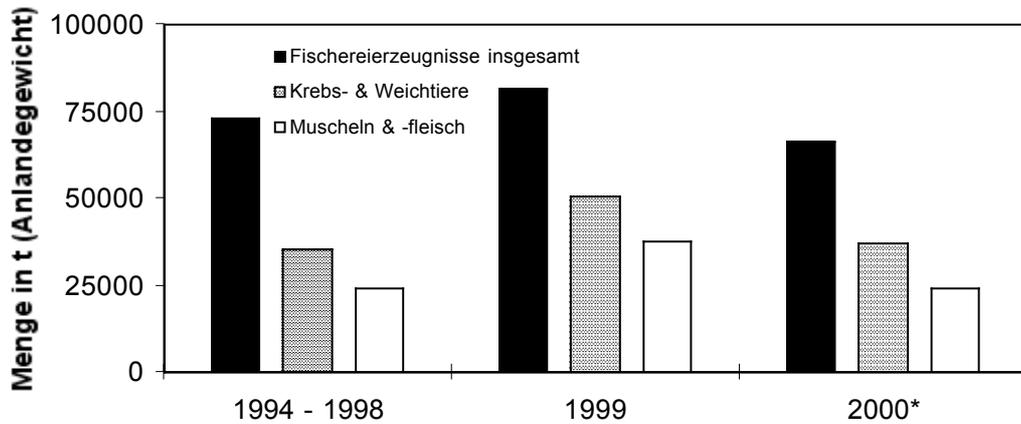


Abb. 42b Anlandungsmenge der deutschen Seefischerei von Fischereierzeugnissen (unverarbeitet) in der BRD. Nach BLE (2001a); * vorläufig

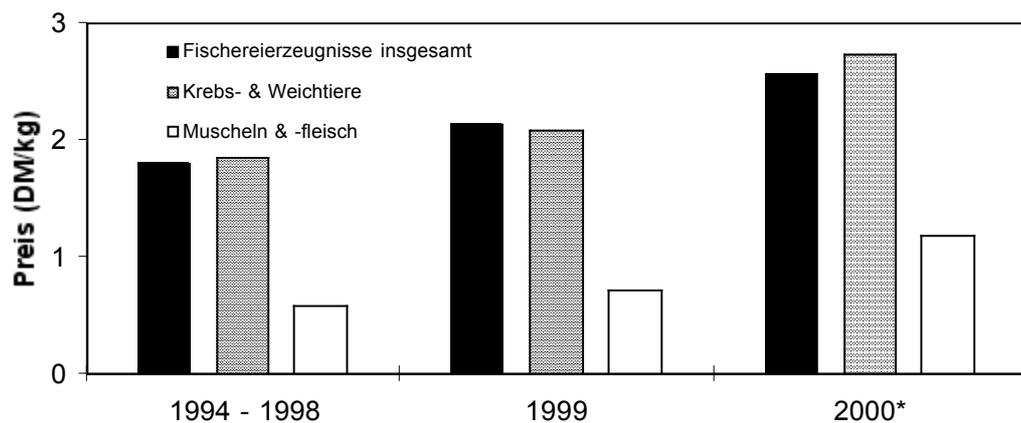


Abb. 42c Anlandungspreise der deutschen Seefischerei von Fischereierzeugnissen (unverarbeitet) in der BRD. Nach BLE (2001a); * vorläufig

Außenhandel: Einfuhr

Die Menge und der Verkaufspreis der aus EU- und Drittländern eingeführten Krebs- und Weichtiere stieg in den letzten Jahren kontinuierlich an. Besonders drastisch ist die Steigerung der Menge und der Preisentwicklung der eingeführten Miesmuscheln, wobei deren Preis in den letzten Jahren nur geringen Schwankungen unterworfen war (FAO, 2000). Ein Großteil der eingeführten Miesmuscheln stammt aus Dänemark und den Niederlanden (BLE, 1999) (siehe hierzu auch „Auslandsanlandungen“).

Die Menge der eingeführten Austern stieg, während der Verkaufspreis stetig sank. Große Pilgermuscheln wurden in den letzten Jahren immer weniger eingeführt (Abb. 43a-c). Im Jahr 2000 wurden insgesamt 80.270 t Krebs- und Weichtiere (frisch) eingeführt (FAO, 2000).

Außenhandel: Ausfuhr

Zu den wichtigsten ausgeführten Krebs- und Weichtierprodukten gehören unbehandelte (frische) und weiterverarbeitete (zubereitete) Miesmuscheln sowie Hummer. Während die Menge des ausgeführten Hummers in den letzten Jahren deutlich sank, stieg der Preis deutlich an. Die Menge exportierter Miesmuscheln stieg im Jahr 2000 auf 16.845 t an. Sowohl im Wert als auch im Preis war hier insgesamt eine steigende Tendenz zu verzeichnen (Abb. 44a-c). Hauptabnehmer für Miesmuscheln waren die Niederlande, Polen und Frankreich.

Durch den oben erwähnten Einbruch in der deutschen Muschelanlandung im Jahr 1999 liegen die Export-Werte hier unter denen für das Jahr 1998 (BLE, 1999). Faßt man die Jahre 1994-1998 zusammen, ergibt sich jedoch eine steigende Tendenz (Abb. 44a-c).

1.1.4.3 Versorgung der BRD mit Algengerzeugnissen

Das Meeresprodukt Alge findet in Deutschland in diversen Industriezweigen Anwendung, gerade in der Kosmetik und der Lebensmittelherstellung ist die Nachfrage groß. Gegenüber der konventionellen Fischereiwirtschaft ist jedoch der Wirtschaftsmarkt für Makroalgen in Deutschland sehr schwach ausgeprägt, was stark mit dem Unbekanntheitsgrad diesem als gesundes Nahrungsprodukt nutzbaren Meeresgut zusammenhängt. Andererseits ist nach BLUNDEN (1989) das Antragsverfahren für die Genehmigung eines Algenzuchtbetriebes besonders in Deutschland mit enormen Schwierigkeiten verbunden, was das Investitionsinteresse mancher Aquakulturbetreiber oder Fremdinvestoren abschreckt.

1995 wurden bereits weltweit 6,1 Mill. Tonnen Algen gezüchtet, was zu diesem Zeitpunkt 86 % der Gesamtanlandung an Algen einnimmt. Die EU importierte 1995 58.000 Tonnen Algen, hauptsächlich aus Chile, Philippinen und Indonesien (FAO, 1998). Innerhalb des europäischen Binnenmarktes stammt der Rohstoff Alge überwiegend aus Frankreich, Italien oder England. Für alle der in Frankreich geernteten Makroalgen bestehen Märkte, die sich früher oder später nicht nur nach Deutschland ausweiten werden (LÜNING, pers. Komm.). Daten über Algenimporte sind in der Datenbank der FAO gelistet, jedoch fehlen statistische Zahlen über Ein- und Ausfuhr für Deutschland. Die Datenbank *Surialink* führt ebenso Ein- und Ausfuhrdaten. Doch unterscheiden sich diese beiden Datenbanken hinsichtlich der Angaben in Naß- und Trockengewichte (FAO => Frischgewicht; *Surialink* => Trockengewicht). Daher wird auf Grundlage der FAO-Datenbank die Dimension dieses Wirtschaftszweigs beispielhaft anhand der Länder Frankreich, Italien und dem größten Produzenten, China, dargestellt. Die Daten in Abb. 45a-c zeigen deutlich den steigenden Bedarf an Makroalgen. Während als Reaktion auf die wachsende Nachfrage in China und Japan die Produktionsmengen aus Aquakulturbetrieben enorm gestiegen sind, hat sie in Europa eine gleichbleibend niedrige oder sogar abfallende Produktionstendenz (z. B. Italien). Doch zeigen die Anlandungsmengen aus Wildbeständen, daß der Bedarf an Algen groß ist und die Menge der aus Kulturbetrieben stammenden Algen um ein Vielfaches übersteigt.

Die bisherigen „Kassenschlager“ waren die Algeninhaltsstoffe, wie Agar, Carrageenan oder Alginate, wobei letztere die höchsten Preise erzielten. Tabelle 9 zeigt die jährliche Produktion und den realen Marktwert der Algenanlandungen im Jahre 1992. Algeninhaltsstoffe beweisen sich trotz des hohen Gewichtsverlustes von Naß- zu Trockengewicht gegenüber der Nutzung als Düngemittel (Maerl) oder Algenmehl, wodurch sich das große Wirtschaftspotential für Phykokolloide ableiten läßt.

Zur Vervollständigung werden hier Verkaufszahlen von Algen einiger deutschen Firmen herangezogen, um den aktuellen Marktwert der in Teilstudie II vorgeschlagenen Kandidaten aufzuzeigen. So bietet beispielsweise die Firma *maBitec (marine Biotechnologie)* aus Wilhelmshaven *Palmaria palmata* als getrocknete Flocken zu einem Kilo-Preis von 36,18 DM an, *Undaria* (ähnlich der *Laminaria*) hat einen Kilo-Preis von ca. 150 DM. Die Firma *FLUKA* bietet 5 g *Laminarin* aus *L. digitata* zu einem Verkaufspreis von 344,00 DM an, die Firma *SIGMA* zu 626,90 DM. 5 g getrocknete (unbehandelte) *L. saccharina* werden im Chemiehandel mit einem Verkaufspreis von 172,00 DM gehandelt.

Tab. 9 Produktionsmengen und Wert der im Jahre 1992 angelandeten Makroalgen. Modifiziert nach GUIRY & BLUNDEN (1991)

Produkt	Wert in Mio. US \$·Jahr ⁻¹	Produktion in Tonnen·Jahr ⁻¹	Rohmaterial in Tonnen·Jahr ⁻¹
Alginate	230	27.000	500.000
Agar	160	11.000	180.000
Carrageenan	100	15.500	250.000
Algenmehl	5	10.000	50.000
Maerl	10	510.000	550.000
Düngemittel	5	1.000	10.000

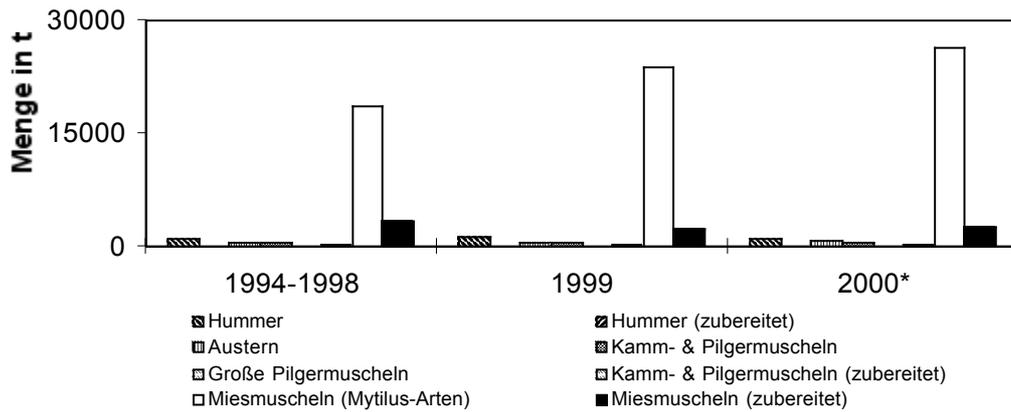


Abb. 43a Einfuhrmenge von Krebs- & Weichtieren in die BRD (Produktgewicht). Nach BLE (unveröffentlicht); * vorläufig

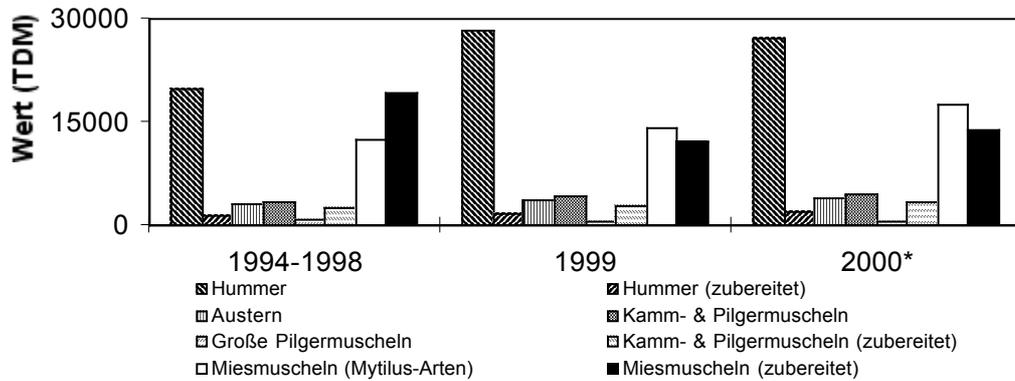


Abb. 43b Einfuhrwerte von Krebs- & Weichtieren in die BRD. Nach BLE (unveröffentlicht); * vorläufig

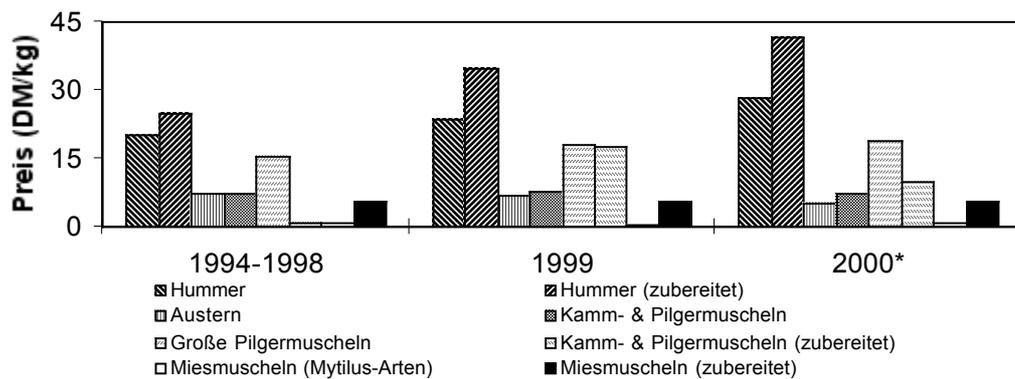


Abb. 43c Einfuhrpreise von Krebs- & Weichtieren in die BRD. Nach BLE (unveröffentlicht); * vorläufig

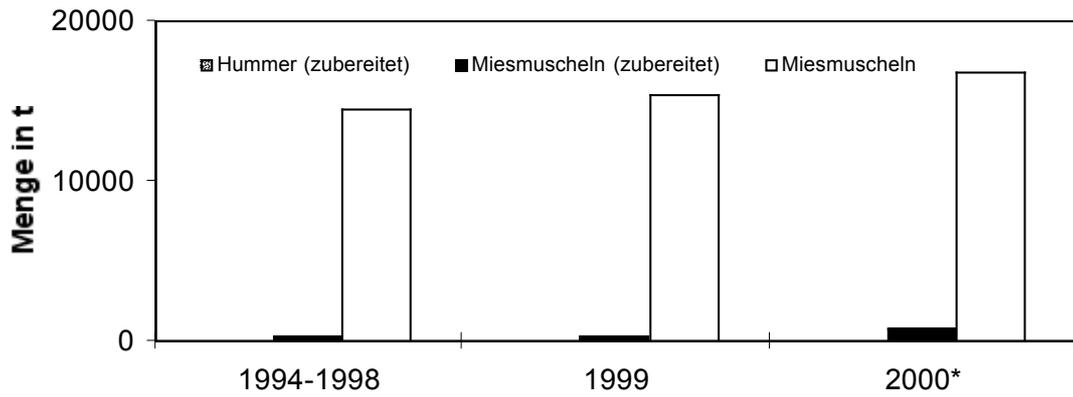


Abb. 44a Ausfuhrmenge der wichtigsten Krebs- & Weichtiere aus der BRD (Produktgewicht). Nach BLE (unveröffentlicht); * vorläufig

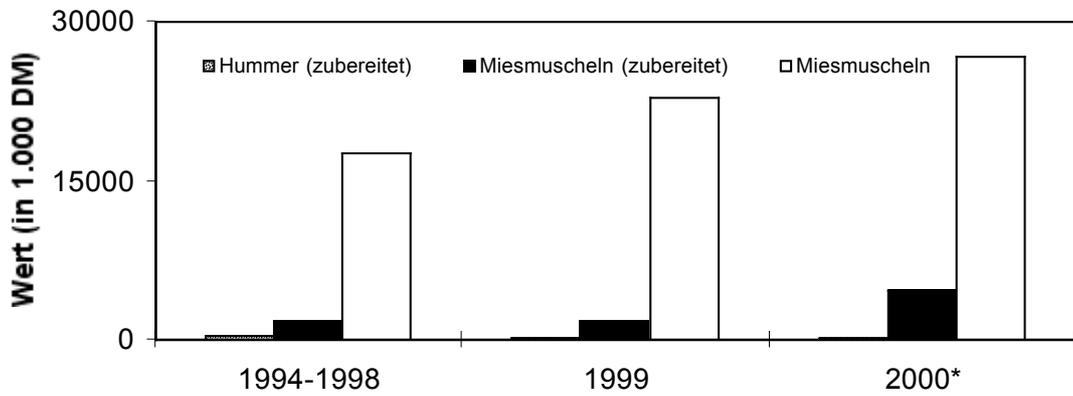


Abb. 44b Ausfuhrwerte der wichtigsten Krebs- & Weichtiere aus der BRD. Nach BLE (unveröffentlicht); * vorläufig

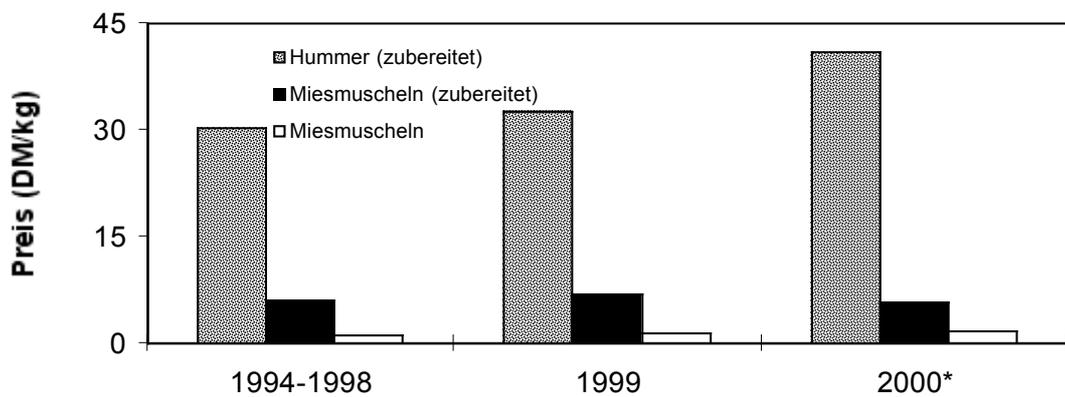


Abb. 44c Ausfuhrpreise der wichtigsten Krebs- & Weichtiere aus der BRD. Nach BLE (unveröffentlicht); * vorläufig

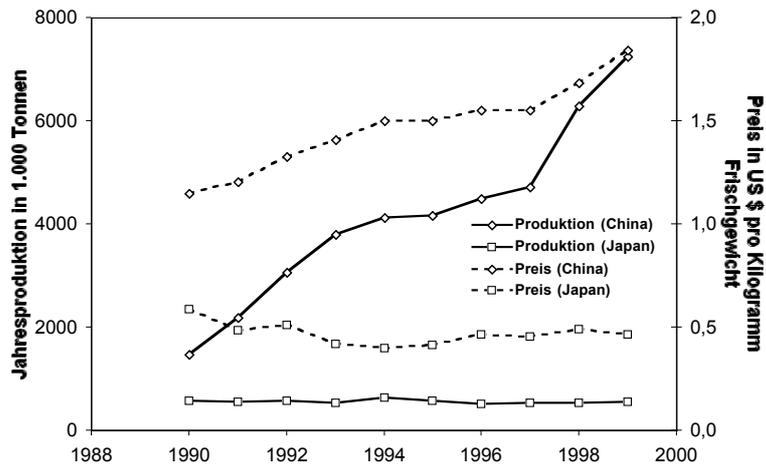


Abb. 45a Algen Produktion in China und Japan von 1990 – 1999. Nach FAO (1999c)

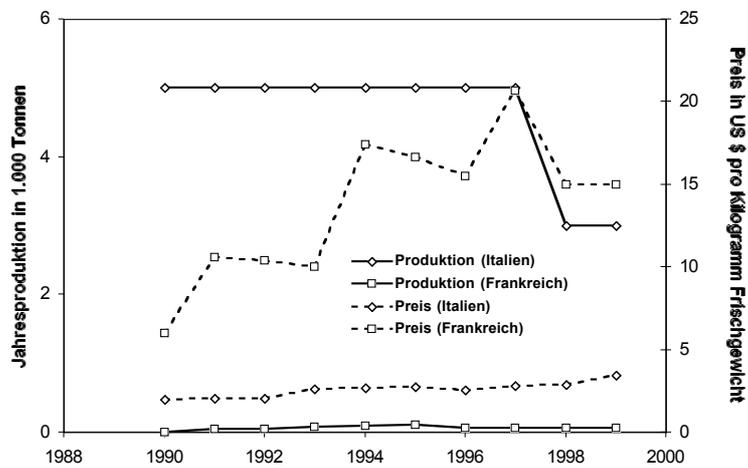


Abb. 45b Algen Produktion in Italien und Frankreich von 1990 – 1999. Nach FAO (1999c)

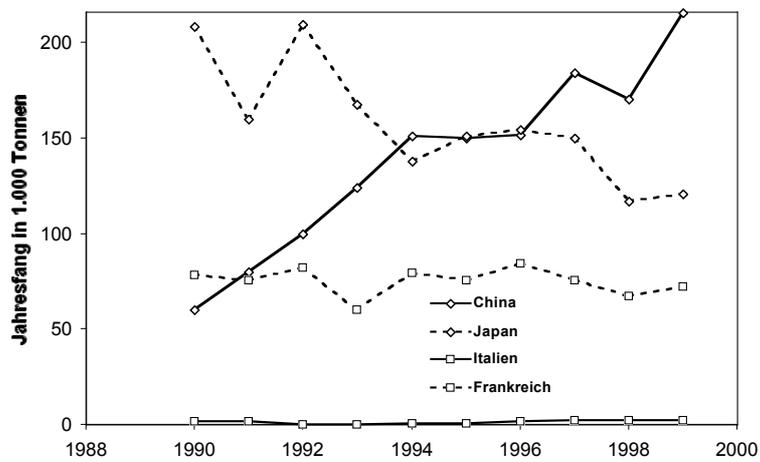


Abb. 45c Algenfang in China, Japan, Italien und Frankreich von 1990 – 1999. Nach FAO (1999c)

1.2 Beispiel einer Kostenanalyse für eine Fischfarm

Nachfolgend wird eine Kosten-Nutzenanalyse einer Offshore-Käfigkultur auf einer Datenbasis aus der aktuellen industriellen Praxis zusammengestellt, welche 1997 während eines CIHEAM (Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes) Workshops in Zaragoza durchgeführt wurde (MUIR & VLAMINK, 2001).

Ausgehend von einer Polykultur-Käfiganlage mit einem Zuchtvolumen von 2.500-3.000 m³ wurden die Investitionen für eine komplett, operierende Anlage

Tab. 10 Kapitalkosten und -einkommen. Modifiziert nach MUIR & VLAMINK, 2001

	Offshore-Anlage
Produktion in Tonnen	400
Volumen in m ³	25.000
Dichte in kg·m ⁻³	16
Investition in 1.000 US \$	1.887
EU Förderung in 1.000 US \$	943
Einsatz von Juvenilen in 1.000	1.200
Verlust in %	10 %
Ernteanzahl in 1.000	1.080
juvenile Größe in g	15
Futterkonversionsfaktor	2.3
Erntegewicht in g	370
Verkaufspreis in US \$·kg ⁻¹	8,02

inklusive Aufzuchtstrukturen, Käfigen, Ausrüstung, genereller Infrastruktur sowie Rücklagen quantifiziert. Das Ergebnis ist in Tabelle 10 dargestellt, wobei in diesem Falle als Grundvoraussetzung von einem 50 %-igen Investitionsförderanteil der EU ausgegangen wurde. Als Besatz wird eine Kombination von Brasse und Barsch in einem Verhältnis von 1:1 angenommen. Die betriebswirtschaftlichen Kosten wurden unterteilt in variable Kosten und Fixkosten (laufend-

de Kosten) (Tab. 11). Neben den reinen Betriebskosten müssen die Kosten der Produktion ermittelt werden.

Diese bestimmen letztendlich den wirtschaftlichen Profit einer Offshore-Anlage und wurden beispielhaft für den mediterranen Raum quantifiziert (Tab. 12).

Tab. 11 Betriebskosten. Modifiziert nach MUIR & VLAMINK, 2001

VARIABLE KOSTEN	Offshore
Preis für Juvenile in US \$·Stück ⁻¹	0,63
Futterpreis in US \$·kg ⁻¹	0,79
Elektrizität in US \$·kg ⁻¹	-
Sauerstoff in US \$·kg ⁻¹	-
Spritkosten in US \$·kg ⁻¹	0,08
Abnutzung in Jahren	8
Zinsen Bank Anlagen in %	5 %
Zinsen Betriebskapital in %	15 %
Fisch Versicherung in US \$·kg ⁻¹	0,2
Arzneikosten in US \$·kg ⁻¹	0,06
Ernte und Verpackung in US \$·kg ⁻¹	0,31
FIXKOSTEN	
Wartung in 1.000 US \$	38
Laborkosten im 1. Jahr in 1.000 US \$	189
Labor in 1.000 US \$	220
freies Handlungskapital in 1.000 US \$	-
andere laufende Kosten in 1.000 US \$	157

Tab. 12 Produktionskosten in US \$. Modifiziert nach MUIR & VLAMINK, 2001

Kosten für Juvenile	1,89
Fütterungskosten	1,81
Ernte und Verpackung	0,31
Versicherung	0,28
Medizin-/Arzneikosten	0,06
Sauerstoff	-
Elektrizitätskosten	-
Spritkosten	0,08
weitere Nettokosten	0,26
gesamte variable Kosten	4,70
Arbeit	0,55
Wartung	0,09
andere Fixkosten	0,39
Abnutzung	0,59
Summe der Fixkosten	1,63
Produktionskosten pro kg	6,33
Profit pro kg	1,69

Als Schlußfolgerung aus diesem Fallbeispiel müssen daher folgende Kapitalbedingungen erfüllt sein, um eine Offshore-Anlage erfolgreich zu bewirtschaften:

	Kapitaleinsatz (Investition)	Betriebskapital	Gesamtkapital
Kosten in 1.000 U.S. \$	943	1.943	2.886
=> ca. 3 Mill. US \$			

Tab. 13 Aktuelle Daten einer Offshore-Anlage in Südfrankreich. Modifiziert nach MUIR & VLAMINK, 2001

Ausrüstung		Preise in Euro (von – bis)	
Arbeitsboot und Kran		199.200	249.000
Schlauchboot	7 m	11.620	16.600
	PE 7 m	23.240	29.880
	Aluminium	11.620	29.880
Luftkompressor		2.490	4.980
Netzwäscher		19.920	29.880
Waschanlage		1.660	2.490
Futterkanone		6.640	7.470
Lastwagen und Kran (3 Achsen)		33.200	
Gabelstapler < 2 t	neu	24.900	
	gebraucht	9.960	13.280
Fischsortierer		13.280	19.920
Fischpumpe		13.280	19.920
Vogelnetz		250	420
Nylonnetz, quadratische Käfige		9.960	11.620
Farmocean-System		23.240	24.900
Seil, 24 mm		130	200
Seil, 48 mm		660	830
Stützstangen, je		170	230
Komplette Verankerungsleine		2.490	4.150
Sprit/Verbrauch pro Jahr		33.200	
Ablaufrohre (ca. 60 m)		1.330	1.990

Dabei ist darauf hinzuweisen, daß die Fixkosten pro Tonne Produktion aller Wahrscheinlichkeit nach sinken werden, wenn die Größe der Anlage zunimmt. Jedoch hängt dieser Effekt stark von den lokalen Standortbedingungen und den Expansionsmöglichkeiten ab. Schlüsselfaktoren der Wirtschaftlichkeit sind allerdings das allgemeine Management der Anlage, wie z. B. die Fütterung, der Arbeitseinsatz und die Energiekosten. Je zuverlässiger eine Anlage läuft, desto geringer werden die Wartungskosten bei gleichzeitiger Sicherung des Besatzes.

Dieses Rechenbeispiel zeigt die typischen Ebenen der Kapitalkosten, welche bei dem Aufbau einer Offshore-Käfiganlage zu berücksichtigen sind.

In Tabelle 13 sind zum Vergleich Daten von bestehenden Offshore-Anlagen im Mittelmeergebiet in Euro aufgelistet (basierend auf Datenquellen aus dem Jahre 1996). Es handelt sich hier nur um Anlagen mit Fischbesatz.

Forschungsbedarf

Über die Kultivierung von Miesmuscheln und Makroalgen gibt es eine Fülle von Erfahrungen, so daß diesbezüglich die reine Grundlagenforschung nicht allein im Vordergrund steht. Die angewandte Forschung nimmt einen entscheidenden Schwerpunkt in einem Offshore-Projekt dieser Art ein.

Der hier nur kurz skizzierte Katalog stellt ausgewählte Bereiche von möglichem Forschungsbedarf dar. Einige andere, vielleicht ebenso wichtige Aspekte, die aufgrund fehlender Daten in diesem Rahmen nicht berücksichtigt werden konnte, sollten zu Beginn oder während einer Pilotstudie neu diskutiert werden.

1. Es muß ein geeigneter Zeitpunkt ermittelt werden, wann die jeweiligen Jungalgen auszubringen bzw. zu ernten sind, um der saisonal stürmischen See oder den möglichen Aufwuchsperioden auszuweichen. So können optimale Wachstumsraten erzielt und die Zuchtdauer auf ein Minimum reduziert werden. Diese Ergebnisse würden durch eine Effizienzsteigerung deutlich positive Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit einer Anlage haben.
2. Welche Größe muß eine Jungalge oder Muschel zum Zeitpunkt des Ausbringens erreicht haben, um gegenüber den starken Strömungen und dem hohen Wellengang zu widerstehen? Wie verhalten sich die Wachstumsraten unter den Offshore-Bedingungen?
3. Kollektoren zeigen eine unterschiedliche, vertikale Verteilung der erstbesiedelnden Muschellarven. Während in der Ostsee die oberen Flächen bevorzugt primär besiedelt werden (BUYANOVSKII & KULIKOVA, 1984), registrierte PULFRICH (1995) im Wattenmeer der Nordsee eine Erstbesiedlung eher im bodennahen Bereich. Ist die Besiedlung der Kollektoren im Offshore-Bereich neben den vertikalen Besiedlungsstrategien auch eine Frage des Larvenangebotes?

4. Es ist bekannt, daß die Festigkeit des Byssus anuellen Schwankungen unterliegt (PRICE, 1982). Daher ist zu untersuchen, ob jahreszeitliche Schwankungen im Nahrungsangebot existieren. So können optimale Ausbringezeiten für die mit Kulturen besetzten Leinen bestimmt werden. Weiterhin sollte ein begleitendes Monitoring-Programm bezüglich toxischer Algenblüten und schädlich wirkender Stoffe, wie oberflächennahe Agenzien und Pestiziden (SWEDMARK *et al.*, 1971; ROBERTS, 1975) durchgeführt werden.

5. Um genaue Daten in Bezug auf die physikalischen und biologischen Bedingungen vor Ort zu erhalten, sollten Meßinstrumente in unterschiedlichen Tiefen verankert werden, um Langzeitstudien durchzuführen. Es wäre dringend erforderlich, diese Messungen während und nach der Konstruktion der ersten Anlage fortzuführen. Zusätzlich muß ein Monitoring-Programm laufen, das den Zustand und die Stabilität der Anlage und ihrer Verankerung kontrolliert. Folgende Parameter und Untersuchungsobjekte sind hier von entscheidender Wichtigkeit:
 1. Strömung,
 2. Salinität,
 3. Temperatur,
 4. Leitfähigkeit,
 5. Akustik,
 6. Druck,
 7. Algenblüten,
 8. Chlorophyllkonzentration,
 9. Sedimentbeschaffenheit,
 10. Plankton- & Schwebstofffracht,
 11. Fouling und
 12. Nährstoffe.

6. Glykogen ist ein wichtiger Energiespeicherstoff der Miesmuschel, dessen Konzentration in den VCT-Zellen des Mantelgewebes bei hohem Nahrungsangebot steigt. Hat die Menge der Energiereserven einen Einfluß auf die Byssusproduktion und ist demzufolge ein Jahresgang festzustellen? Eignet sich der Glykogengehalt als Indikator für die Fitneß der Muschel?

7. Der Sortierapparat und die Kiemengröße von Muscheln aus Wattgebieten bzw. aus der AWZ sind aufgrund der unterschiedlich hohen Partikelfracht

verschieden ausgebildet. Die Kiemen von Wattmuscheln sind kleiner, ihr Sortierapparat kann jedoch große Partikel befördern. Muscheln aus Offshore-Gebieten zeigen eine gegenteilige Entwicklung: ihre Kiemen sind wegen der geringeren Partikelfracht größer ausgebildet, ihr Sortierapparat ist jedoch wegen der zu erwartenden geringen Größen der Partikel kleiner. Eine gute Kombination zwischen moderner Aquakultur und artesischer Miesmuschelfischerei kann erreicht werden, wenn Saatmuscheln in der AWZ vorgezüchtet werden und anschließend, nach Erreichen einer Sollgröße, auf den Muschelbänken im Wattenmeer ausgebracht werden. Daher muß geprüft werden, ob und in welcher Weise sich die Muscheln auf diese unterschiedlichen Lebensräume einstellen können.

8. Durch die von MITTELSTAEDT *et al.* (1983) gemessenen Stromfiguren besteht die Möglichkeit, daß einige Organismen stärker, andere weniger stark zur Strömung exponiert sind. Besteht eine technische Möglichkeit, Standortnachteile auszugleichen? In welcher Weise wirken sich bestimmte vorherrschende Strömungsmuster mit ihrer Planktonfracht auf die Wachstumsraten der Muscheln aus?

9. Bei der momentanen weltweiten marktwirtschaftlichen Situation, in der ein beständiger Verfall der Marktpreise festzustellen ist, kommt der betrieblichen Wettbewerbsfähigkeit ein äußerst wichtiger Stellenwert zu. Es ist anzunehmen, daß mangelhaft arbeitende Offshore-Betriebe gezwungen werden, aufzugeben oder aufgekauft werden. Aus dieser Situation ergeben sich folgende Fragen, die hier in diesem Rahmen nicht zufriedenstellend beantwortet werden konnten:
 - Welche Art des Offshore-Betriebes und die damit verbundene Anlage ist voraussichtlich am wettbewerbsfähigsten?
 - Zu welchem Grad ist das Gleichgewicht zwischen Risiko und Gewinn akzeptierbar?
 - Wie wird der zukünftige Wettbewerb von anderen Formen der Aquakultur aussehen?

- Kann ein Kriterienkatalog für erfolgreiches Anlagenmanagement entwickelt werden?

10. Bei der Konstruktion von WEA's und Aquakulturanlagen dürfen sich beide Techniken nicht unabhängig entwickeln. Wie kann ein *Joint Venture* unter allen Beteiligten aussehen?

Beurteilung

Diese Machbarkeitsstudie hat bezüglich der Durchführbarkeit einer Offshore-Aquakultur in den geplanten Windparks im deutschen Nordseeraum nur Modellcharakter, dessen Entwicklung und Veränderung von der zukünftigen Entwicklung der Windparks abhängt. Ein großer Teil des Datenmaterials über den Themenblock Aquakultur stammt aus anderen geographischen Regionen, in denen ähnliche oder abweichende Bedingungen herrschen. In dieser Studie wurde versucht, die vorhandenen Daten für ein Aquakulturmodell für den Raum Nordsee zu evaluieren. Für eine weiterführende Evaluierungen sind Einzelstudien nötig, welche im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie als *terms of reference* identifiziert worden sind.

Die vorliegende theoretische Studie über die Durchführbarkeit basiert größtenteils auf den zur Verfügung stehenden Daten aus der Physik, Biologie und Technik. Da diese Daten aus verschiedenen Quellen stammen, die teilweise veraltet oder rein theoretischer Natur sind bzw. auch einer in ihrer Güte ständigen Aktualisierung unterliegen, wird hier die abschließende Bewertung der vorliegenden Daten erschwert. Üblicherweise umfaßt die Ausarbeitung einer Machbarkeitsstudie die Erhebung eigener Daten, bei der die Kenntnis des genauen Standorts zwingend notwendig ist. Letztere Kenntnis lag für die Ausarbeitung dieser Studie nicht vor. Der aktuelle Mangel an konkretem Wissen in diesem neuen naturwissenschaftlichen und kommerziell nutzbaren Sektor im Raum Nordsee unterstreicht allerdings den Forschungsbedarf dieser Thematik. Die hier dargestellte Fülle der beantragten Windparks allein in der AWZ der deutschen Nordsee beschreibt deutlich die Mannigfaltigkeit in der naturräumlich lokalen Ausprägung, wie auch das Ausmaß der bei voller Parkgröße potentiell nutzbaren Flächen für die Offshore-Aquakultur.

Viele Windparkbetreiber befinden sich derzeit im Antrags- oder Genehmigungsverfahren, wo Größe, Standort, Sicherheit gegenüber Schiffsverkehr usw. diskutiert werden. Wie groß ein Park tatsächlich gebaut werden kann und wo der genaue Standort sein wird ist noch unklar. Ferner können noch keine Aussagen über die Art der Verankerung der WEA's getroffen werden. Somit bleibt offen,

wie eine multifunktionale Nutzung einer Aquakulturanlage in Verbindung mit dem Sockel der Anlage aussehen kann. Zur Zeit gehen einige Windparkbetreiber davon aus, daß sich aus Sicherheitsgründen Drei- oder Vierbeinkonstruktionen (Jackets) gegenüber einem Monopiles (Einbein) durchsetzen werden.

Im weiteren Verlauf werden die unterschiedlichen Eigenschaften des Ökosystems Nordsee bezüglich der Parameter Standort, Technik, Kandidaten, Wirtschaft und Sozioökonomie diskutiert:

Standort:

Der Wasserkörper der Nordsee wird aufgrund der Gezeiten täglich verändert und teilweise erneuert, so daß von einem hohen Durchmischungsgrad der Wassersäule auszugehen ist. Lokale Strömungsmuster werden wahrscheinlich keinen Einfluß auf das Wachstumsverhalten der Kandidaten auswirken.

Der Einfluß von Salinität, Pestiziden, Temperatur und oberflächennahen Agenzien im Gebiet der geplanten Windparks wird sich somit bei allen möglichen Standorten ähnlich auswirken.

Sauberes Wasser mit guten O₂-Bedingungen sorgt für eine gesunde Zucht, fern der verschmutzten urbanen Abwässer. Das begünstigt die Zucht von hohen Besatzdichten im offenen Raum im Gegensatz zu Kulturanlagen an Land.

Miesmuscheln leben gewöhnlich in großen Populationen agglomeriert mit anderen Muscheln, was eine dichte Besiedlungsdecke erlaubt. Die Tatsache, daß sich die Miesmuscheln vertrossen, läßt sie in großen Besatzdichten platzsparend kultivieren, was die Verwendung dieser Organismen als Kandidat unterstreicht. Nach vorliegender Literatur können sie bezüglich des Standortes ohne große Probleme den vorherrschenden Umweltfaktoren widerstehen.

Technik:

Nach DANILOUX *et al.* (1997) halbieren sich bei einer Gesamttiefe von 20 m die Orbitalbewegung der Wasserteilchen und der windinduzierten Strömungsgeschwindigkeit in den ersten 5 m, die Wellenkraft nimmt in gleicher Tiefe dagegen um 75 % ab. Bei der Wahl der Kulturtechnik bietet sich daher in den Offshore-Windparks die Verwendung einer untergetauchten Langleinen- oder Ring-

konstruktion an, was sich durch die Verringerung der mechanischen Kräfte auf die Kulturen begründen läßt.

Gegenüber Bodenkulturen weisen Muscheln an Seil- oder Floßkulturen höhere Wachstumsraten auf (MEIXNER, 1971; RODHOUSE *et al.*, 1984), was wahrscheinlich an der besseren Nahrungsqualität und höheren Durchflußraten liegt. Freihängende Muschelkulturen haben fast ausschließlich Phytoplankton als Nahrungsquelle gegenüber den Bodenkulturen, die eine Mischung aus Phytoplankton und Detritus konsumieren. Weiterhin werden die höheren Wachstumsraten durch den besseren Abtransport der Verdauungsprodukte und Ausscheidungen durch die beständige Strömung in der Wassersäule erreicht (RODHOUSE *et al.*, 1984).

Bei Miesmuschelbänken im Wattenmeer kann eine Prädation nie ausgeschlossen werden. Während der Überflutung der Watten können Fische und andere Organismen die Muscheln als reichhaltige Nahrungsquelle nutzen, während bei Trockenfallen Muscheln Vögeln zugänglich sind. Bei abgesenkten Kulturleinen wird die Prädation durch Vögel erschwert und das Fouling aufgrund geringerer Lichtintensitäten reduziert.

Durch die Hängekulturen kommen die Muscheln mit dem Sediment nicht in Kontakt, was das Abweiden von benthischen Räubern vermeidet und die Marktfähigkeit von „sandfreien“ Muscheln begünstigt.

Kandidaten:

Im Gegensatz zu der terrestrischen Agrikultur wirkt jede Erzeugung von pflanzlicher Biomasse für wirtschaftliche Zwecke unter Verwendung der unerschöpflichen Reserve „Meerwasser“ nicht umweltschädlich. Während in der Bretagne das Herausreißen der Makroalgen aus natürlichen Beständen kritisiert wird, vermeidet die Zucht von Jungalgen in geschützten Tanksystemen an Land die Abweidung und Ausbeutung der Wildbestände und schützt so natürlicher Habitate bzw. Kinderstuben verschiedener anderer mariner Organismen, die dieses Ökosystem nutzen. Außerdem werden durch das Ausbringen von Algenfarmen in den Offshore-Bereich neue Ökosysteme geschaffen, die als „*Artificial Reef*“

vielen Organismen neue Habitate anbieten. Ebenso verhält sich die Beziehung von terrestrischer Viehzucht zu mariner Mytilikultur.

Algen sind von Nährstoffen im Wasser abhängig, Muscheln von der Planktonfracht. Beide Kandidaten benötigen keine zusätzliche Verabreichung von wachstumsfördernden Produkten (Nährstoffzugabe). Durch die Vermeidung von künstlicher Nährstoff- und Futterzugabe (bzw. synthetischen Stoffen wie z. B. Antibiotika oder anderen Pharmaka) schonen alle hier vorgeschlagenen Kandidaten das Ökosystem Nordsee und haben umweltentlastende Eigenschaften.

Die in Teilstudie II vorgeschlagenen Kandidaten erfüllen größtenteils die erforderlichen Kriterien für eine Open Ocean Aquaculture. Die Kandidaten sind bezüglich ihres Lebenszykluses ausreichend erforscht, so daß Brut, Larven oder Jungalgen gut herangezüchtet werden können. Somit ist gewährleistet, daß ausreichend Material zur Verfügung steht und kein Engpaß bei der Bereitstellung entstehen kann. Alle Kandidaten haben hohe Wachstumsraten, was sie zu wirtschaftlich nutzbaren Zuchtorganismen macht.

Muscheln

Nach Ergebnissen der Ökosystemforschung liegen die Gründe, warum sich die Muschelbestände in den letzten Jahren so drastisch reduziert haben, hauptsächlich in der Prädation durch u. a. Eiderenten, Austernfischer, Silbermöwen, starken Fischereidruck der Miesmuschelfischerei, Stürme und Eisgang, Parasitenbefall und Schadstoffbelastung (MICHAELIS et al., 1995; HERLYN & MICHAELIS, 1996; HERLYN & MILLAT, 2000). Nach vorliegenden Datensätzen bezüglich der Schadstoffbelastung urbaner Abwässer und Eisgängen entfallen diese Probleme in Offshore-Gebieten (MURSYS, 2000). Durch den Einsatz von untergetauchten Kulturtechniken soll die Prädation von Vögeln reduziert werden und der starken oberflächennahen Hydrodynamik entgegenwirken.

Eine hohe Fruchtbarkeitsrate der Miesmuscheln und das Umhertreiben der freilebenden Larven sorgen für große räumliche Ausbreitungen und Vorkommen der Miesmuscheln. Aufgrund der hohen Larven-Abundanz zeigt sich eine dominante Rolle der sich ansiedelnden Pediveligerlarven auf dem Substrat im Eulitoral und in tieferen Regionen. Das ermöglicht den Muschelfarmern, auf natürli-

che Art und Weise an ihre Brut zu gelangen, indem sie ein geeignetes Substrat ausbringen, auf dem sich die Muschellarven niederlassen. Das „Einfangen“ der Larven auf Kollektoren ist unproblematisch und das ganze Jahr über mit wenig Aufwand betrieben werden (WALTER, pers. Komm.). Das erspart eine technisch aufwendige Larvenproduktion, die außerdem wirtschaftlich unrentabel sein würde.

Bei der Bereitstellung von Austernlarven sieht es da anders aus. Juvenile Austern müßten im Handel erworben werden, wobei der Preis von einer Tonne Jungaustern (2-3 cm) bei ca. 4.500 DM liegt (JOHANNES, pers. Komm.). Da „Offshore-Austern“ guten Wachstumsraten haben, was sich in der kurzen Kultivierungsdauer von 2 Jahren niederschlägt (im Wattenmeer sonst 2¹/₂ bzw. 3 Jahre), rentiert sich der Anschaffungspreis aufgrund der hohen Nachfrage.

Die Filtrationsrate von Miesmuscheln im Watt beträgt für die Zeit der Überflutung ca. 1,5-2 L·h⁻¹. Muscheln können unter ständiger Überflutung diese Durchflußmenge bis zu 3,5 L·h⁻¹ steigern. Diese höhere Filtrationsrate und die ständige Überflutung mit planktonreichem Wasser ermöglicht eine höhere Wachstumsrate, was sie letztendlich schneller marktfähig macht. Die dadurch entstehende Dünnschaligkeit der Miesmuschel kann durch moderne „schonende“ Ernteausrüstungen kompensiert werden (RUTH, pers. Komm.). Im Gegensatz zu Austernfarmen an Land kommen Massenmortalitäten trotz der hohen Besatzdichten sehr selten vor.

Die deutsche Nordseeküste, der dänischen Limfjord, das holländische Wattenmeer und die Oosterschelde sind Erzeugergebiete, die für den deutschen Konsumenten relevant sind (SCHUBRING, 1998). In diesen Gebieten stammen die Miesmuscheln hauptsächlich aus natürlichen Beständen und künstlich angelegten Muschelbänken bzw. On-Bottom-Kulturen. Solche Muscheln haben aufgrund ihrer Filteraktivität einen ständigen Kontakt mit Sandpartikeln des Untergrundes. Eine Kontaminierung von On-Bottom-Mytilikulturen mit Sedimentpartikeln ist kaum vermeidlich. Entsprechend der Forderung in den Leitsätzen für Fische und Fischerzeugnisse, daß die Muscheln frei von Sand sein müssen,

was mit ca. 2 g Sand·kg⁻¹ Erzeugnis der Fall wäre (Schubring et al., 1998). Daher müssen abgeerntete Muscheln vor dem Verkauf für ca. 12-14 Tage gewässert werden. Im Falle der Austernkulturen werden die marktreifen Organismen in speziell dafür konstruierten Waschmaschinen von Aufwuchs und Sand befreit. Das bedeutet nicht nur einen höheren technischen und energetischen Aufwand (also höhere Kosten), sondern auch mehr Zeitaufwand. Bei einer Off-Bottom-Kultur, wie sie an den Windparks durchgeführt werden könnte, entfallen diese Probleme. Sie wären nach der Ernte direkt marktfähig und von besserer Qualität (keine Sandeinlage bzw. 0 g Sand·kg⁻¹ Erzeugnis) und könnten einem besseren marktwirtschaftlichen Gewinn erzielen, da zusätzliche Produktionskosten durch den fehlenden Mehraufwand vermieden werden.

Wichtig in diesem Zusammenhang ist der Standort Offshore im Bereich einer Sekundärnutzung von Windparkbetrieben. Nach MERCK & VON NORDHEIM (2000) entstehen bei der Konstruktion der Fundamente für die WEA's Sedimentfahnen, die zu einer lokalen Bedeckung der Benthosfauna führen können. Diese Trübungsfahnen können eine temporäre oder sogar dauerhafte Schädigung der Benthosfauna verursachen (KENNY & REES, 1996), so daß ein nicht unerheblicher Streßfaktor auch auf die in Bodennähe gehaltenen Kulturorganismen entstehen kann. Das könnte sich in einer verminderten Wachstumsrate äußern bzw. sogar das Lösen der Byssusfäden verursachen (KAHLE, 1998). Daher sollte sowohl für Forschungszwecke, als auch bei dem Beginn einer kommerziell zu betreibenden Farm der Standort klar und in Abhängigkeit von weiteren zu bauenden WEA's definiert werden.

Das Byssusorgan der *M. edulis* spielt in der Aquakultur eine entscheidende Rolle, da es die Muschel fest an einem Ort hält. Eine Aufgabe der Vertrossung würde den Verlust des Besatzes zur Folge haben. Mit dem Byssusapparat ist *Mytilus edulis* ein Organismus, der den täglichen Belastungen durch Strömung und Seegang standhalten kann. Stärkere Strömung wirkt sich nicht wachstumshemmend aus. Im Gegenteil, intensivere Wasserbewegungen und stärkere Exposition haben einen positiven Einfluß auf die Vertrossung der Muschel (WITTMAN & SUCHANEK, 1984). So kann sie bei den hohen Strömungsgeschwin-

digkeiten nicht verloren gehen. Es herrscht langfristig kein Energieverlust durch die feste Vertrossung und kann daher nicht als wachstumshemmend angesehen werden (LOSTE, pers. Komm).

Allgemein wird die Festigkeit des Byssus bzw. die Byssusproduktion durch die Höhenlage über der Niedrigwasserlinie beeinflusst. Eine Kultur unterhalb der Wasseroberfläche in 2 m Tiefe wirkt sich positiv aus, was vermutlich an der längeren Überflutungsdauer gegenüber trockenfallenden Exemplaren liegt (GLAUS, 1968).

Eine Temperaturerhöhung führt zu einer vermehrten Byssusproduktion und zu höherer Festigkeit der Byssusfäden (YOUNG, 1985). Das liegt wahrscheinlich an dem größeren Mobilitätsverhalten der Muschel. Inwieweit die Byssusproduktion durch Temperaturunterschiede bei ständig untergetauchten Muscheln im Gegensatz zu denjenigen, die zwischendurch trocken fallen, ausfällt, kann bis jetzt noch nicht gesagt werden. Durch Relaxation des Retraktormuskels kann die Muschel den gesamten Byssusstamm entlassen, was der Muschel eine Ortsveränderung ermöglicht. Häufige Neuvertrossung erlaubt so der Muschel, einen optimaleren Standort zu finden. Die geringen Temperaturschwankungen in einer Wassertiefe von 3-10 m werden vermutlich nicht zu einer Aufgabe des Standortes führen.

Geringe bzw. zu hohe Salinitäten oder eventuelle Schwankungen führen zu einer geringen Festigkeit des Byssus (ALLEN *et al.*, 1976; YOUNG, 1985). Die Salinität in den Offshore-Bereichen der Windparks weisen allerdings keine großen Schwankungen auf und werden die Standorttreue einer Miesmuscheln fördern. Solange die Muschel Nahrung aufnehmen kann, hat sie Energiereserven für die Vertrossung. Weniger Nahrung kann zu einer negativen Energiebilanz führen, was wiederum die Byssusproduktion hemmen könnte. Es muß daher genügend Nahrung am Standort vorhanden bzw. gewährleistet sein, da sonst der Grad der Vertrossung der Muschel mit der Zeit nachgibt und die Byssusfäden sich lösen. Das würde zu einem Verlust der Kulturmuschel führen. Das Überangebot an planktonischer Nahrung, so wie es in der Nordsee vorkommt, wird diesen Fall höchstwahrscheinlich nicht eintreffen lassen. Ferner sind nach den Daten des MURSYS (2000) die Chlorophyllkonzentrationen an den Randgebieten des

Küstenmeeres noch hoch genug, daß auf eine ausreichende Phytoplanktonfracht zu schließen ist. Jedoch sollte dieser Faktor Gegenstand eines Forschungsvorhabens sein.

Algen

Algen sind für eine hohe Nährstoffkonzentration sehr empfänglich, was an den enormen Wachstumsraten verfolgt werden kann. Die Eutrophierung der südlichen Nordsee ist ein wichtiger Faktor für diesen Standort, da sich das Überangebot an Nährstoffen positiv auf das Algenwachstum auswirken wird. Nachteilig bei einer zu hohen Nährstoffkonzentration ist die Ausbildung von Algenblüten, die bei zu hohem Aufkommen in oberen Wasserschichten darunterliegende verdunkeln können und somit den existentiellen Faktor Licht minimieren (MACLEAN, 1993).

Eine zu hohe Belastung der Gewässer durch Schwermetalle kann sich auf *Laminarien* schädlich auswirken. Das Gewebe wird durch zu hohe Schwermetallkonzentrationen wie Quecksilber und Blei zerstört. Die Entwicklung der Schwermetallkonzentration der südlichen Nordsee nach MURSYS (2001) zeigt, daß die Belastung rückläufig ist und von der 12-Seemeilenzone zur AWZ hin abnimmt. Allgemein ist also in den Offshore-Bereichen mit geringen Konzentrationen von Schwermetallen zu rechnen, was für diesen Standort sprechen würde. So kann ein gesundes, unbelastetes Nahrungsmittel produziert werden.

Bezüglich der Jungalgen kann auf Erfahrungen der Wattenmeerstation auf Sylt (AWI) und Helgoland (AWI) zurückgegriffen werden. An diesen Stationen ist außerdem die Kultivierung der Algen möglich, so daß auch hier die Bereitstellung gesichert ist.

Wirtschaft:

Vorteile einer potentiellen Vermarktung der Kandidaten wurde oben schon erwähnt, die vorgeschlagenen Muscheln und Algen sind von kommerziellen Wert und können mit Profit verkauft werden.

Nach BRECKLING (pers. Komm.) und EWALDSEN (pers. Komm.) besteht für Miesmuscheln eine große Nachfrage in Deutschland, die derzeit nur aus Anlan-

dungen anderer Länder gedeckt werden können. Die Firma *Dittmeyer* züchtet für den heimischen Markt ca. 1 Mio. Austern im Jahr. Allerdings werden in Deutschland jährlich 5-6 Mio. Austern verspeist (JOHANNES, pers. Komm.; DITTMAYER, pers. Komm).

Bezüglich der Kultur von Miesmuscheln sei noch erwähnt, daß von den 2.000 ha Kultivierungsfläche Schleswig-Holsteins nach dem Prinzip der Dreifelderwirtschaft jedes Jahr nur 1.000 ha neu besiedelt werden. Für diese Neubesiedlung werden 20 t Saatmuscheln pro Hektar benötigt (Wert: 1-2 DM pro Kilogramm Jungmuschel). Daraus ergibt sich ein jährlicher Bedarf an 20.000 Tonnen Muscheln. Wenn der Brutfall wie in den letzten Jahren ausbleibt, kann der Bedarf nicht gedeckt werden und der Preis der Saatmuscheln steigt. Es würde sich also anbieten, auch Besatz für den Saatmuschelmarkt zu züchten, um das Potential dieser wirtschaftlichen Nische auszunutzen.

Hier soll nur kurz auf mögliche Abnehmer für Makroalgen in Deutschland hingewiesen werden, welche die Etablierung des neuen Marktzeiges erleichtern würden. Das *Bremerhavener Institut für Lebensmitteltechnologie und Bioverfahrenstechnik* (BILB) wäre ein potentieller Abnehmer von Makroalgen, da diese sich für die Gewinnung von Alginaten eignen. Die verwendete *Laminaria saccharina* soll für genau diesen Zweck gezüchtet werden. Der Anteil an Alginaten im Vergleich zur Erntemenge ist relativ hoch. Die Firma *BASF* wäre ebenfalls an der *L. saccharina* interessiert, um sie als Metallsorbentien bzw. Ionenaustauscher zu nutzen. Für die Anwendung der Algen in der Lebensmittelindustrie zeigt die Firma *maBitec*, marine Biotechnologie in Wilhelmshaven, Interesse. Für diesen Zweck eignet sich der vorgeschlagene Kandidat *Palmaria palmata*. Die Alge *L. saccharina* hat hohe Wachstumsraten, der Kultivierungszeitraum ist hier kurz und beträgt sechs Monate (LÜNING, pers. Komm.). Dadurch lassen sich Gewinne schneller erzielen. Eine Management-Strategie wäre, anfangs eher Algen zu züchten um die Anlage von Beginn an rentabel zu bewirtschaften. Parallel dazu könnte man eine Polykultur mit Miesmuscheln betreiben, wobei die Menge jährlich gesteigert wird. Durch die allmähliche Durchdringung des Marktes mit gesunden Offshore-Muscheln kann langfristig ein hochwertiges

Nahrungsprodukt erzeugt werden. Die hieraus wachsende Nachfrage könnte eine neue Marktnische etablieren (z. B. Dittmeyer's Austernfarm auf Sylt).

Sozio-Ökonomie:

Bevor private Investoren für die Verwirklichung einer Anlage gesucht werden, müssen neben den biologischen, technischen und wirtschaftlichen auch die sozialen Bedingungen für durchführbar erklärt werden. Weitreichende Voruntersuchungen dürfen dabei nicht nur auf biologische und technische Aspekte beschränkt bleiben, sondern müssen auch die lokalen Akteure und Stakeholder in ein solches Projektvorhaben aktiv mit einbeziehen. Es müssen Partnerschaften zwischen den ansässigen Fischern, den Käfig- und Netzherstellern, den Aquakulturbauern, den Wissenschaftlern und anderen Interessensgruppen aufgebaut werden. Ferner sollten in regelmäßigen Abständen Treffen und Workshops durchgeführt werden, um den momentanen Wissensstand und die Erfahrungen auszutauschen. Durch diese aktive Partizipation unmittelbar in der anfänglichen Planung garantiert einen langfristigen Gebrauch für kommerzielle und wissenschaftliche Nutzung (BUCKLIN & HOWELL, 1998). Gleichzeitig würden sich hieraus mögliche Konfliktpotentiale, z. B. zwischen Fischergruppen und Aquakulturbetreibern, im Vorfeld deutlich minimieren. Als Negativbeispiel könnten hier die Erfahrungen aus dem Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer herangezogen werden, wo dieser Aspekt anfänglich nicht ausreichend genug berücksichtigt wurde. Dieses resultierte in scharfen Konflikten zwischen der Nationalparkverwaltung und den lokalen Stakeholdern, die zum Teil bis heute noch andauern. Durch aktive Partizipation würde man eine nachhaltige Küstenentwicklung im Sinne des integrierten Küstenmanagements betreiben.

Abschließend ist zu sagen, daß aufgrund des fehlenden Know-hows für den Standort Deutschland dringend praktische Studien nötig sind, die die Nordsee auf ihre Aquakultureignung untersuchen müssen. Nach Auswertung der vorliegenden Daten kann man jedoch davon ausgehen, daß einige Kandidaten für eine Aquakultur im Raum Nordsee durchaus geeignet sind und auch wirtschaftliche Potentiale mitbringen.

Aus ökologischer Sicht wird allerdings bei der wirtschaftswissenschaftlichen Analyse ein wesentlicher Aspekt nicht angesprochen, nämlich die Frage nach der Funktion bzw. der Nachhaltigkeit eines Lebensraumes, Aquakultur in einem gewissen Rahmen überhaupt tragen zu können. Wieviel Naturraum bzw. Prozeßabläufe sind in diesem Lebensraum notwendig, um eine Aquakultur in einer bestimmten Anlagengröße zu erhalten? Dieser Frage wird unter anderem in dem Ansatz der „*Ecological Footprint Analysis*“ von WACKERNAGEL *et al.* (2000) nachgegangen. Hierbei wird der Anteil der ökologischen Prozesse, der für den Betrieb einer Aquakulturanlage von Bedeutung ist, sozusagen der benötigte Eigenverbrauch der Anlage wie die Nährstoffzufuhr des natürlichen Systems Meer, bilanziert (DEUTSCH *et al.*, 2000). Weiterhin werden in diesem Ansatz die wirtschaftlich-ökologische Vernetzung und die globale Abhängigkeit von ökologischen Prozessen, die in geographisch sehr entfernten sozio-ökonomischen Räumen⁶ ablaufen, aufgezeigt.

⁶ Hier wäre als Beispiel die Shrimp-Aquakultur in Malaysia zu nennen, bei der der Hauptanteil der produzierten Shrimps in Europa konsumiert wird. Das heißt, daß die europäischen Länder zu einem wesentlichen Prozentanteil die Funktionen und die Prozesse des Ökosystems Mangrove nutzen und von der Produktivität dieses Ökosystems abhängig sind.

Abkürzungen

AGA	American Gas Association
ASP	Amnesic Shellfish Poison
AWATS	Aquaculture Waste Transport Simulator
AWZ	Ausschließliche Wirtschaftszone
BGBI	Bundesgesetzblatt
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BnatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BBergG	Bundesberggesetz
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
BWaStrG	Bundeswasserstraßengesetz
CBD	Übereinkommen über die biologische Vielfalt
CDF&G	California Department of Fish & Game
CIHEAM	Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes (International Centre for Advanced Mediterranean Agronomic Studies)
DKVO	Landesverordnung über den Schutz der Deiche und der Küsten
EPRI	Electric Power Research Institute
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FG	Fischereigesetz
FisBergV	Festlandsockel-Bergverordnung
FFH-R	Flora und Fauna Habitat Richtlinie
GATT	General Agreement on Tariff and Trade
GG	Grundgesetz
GRI	Gas Research Institute
HACCP	Hazard Analysis and Critical Control Points
HFD	Hawaiian Fisheries Development
HOARP	Hawaii's Offshore Aquaculture Research Project

IBA	Important Bird Areas
JACOEL	Jere A. Chase Ocean Engineering Laboratory
KüFO	Küstenfischereiordnung
LFischG	Landesfischereigesetz
MAZ	Marine Aquaculture Zoning
MV	Muschelverordnung
NaturschG	Naturschutzgesetz
NLFEA	non-linear finite element analysis
NMFS	National Marine Fisheries Service
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NPG	Nationalparkgesetz
OAC	Gulf of Mexico Offshore Aquaculture Consortium
OI	Oceanic Institute
OIE	Office International des Epizooties
OOA	Open Ocean Aquaculture
OREHP	Ocean Resources Enhancement and Hatchery Program
OSPAR	Oslo-Paris-Übereinkommen
OSPNEY	Ocean Swell Powered Renewable Energy
OST	Ocean Spar Technologies
PMAC	Pacific Marine Aquaculture Center
SeeAnIV	Seeanlagenverordnung
SOSSEC	Submersible Offshore Shellfish and Seaweed Cage
SRÜ	Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen
UM	University of Maine
UNH	University of New Hampshire
USM	University of Southern Mississippi
UVP	Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfungen
VSeeStrO	Verordnung für die Seestraßenordnung
WEA	Windenergieanlage
WOSP	Wind and Ocean Swell Power
WSA/D/V	Wasser- und Schifffahrtsamt/-direktion/-verwaltung

WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie

Anhang I

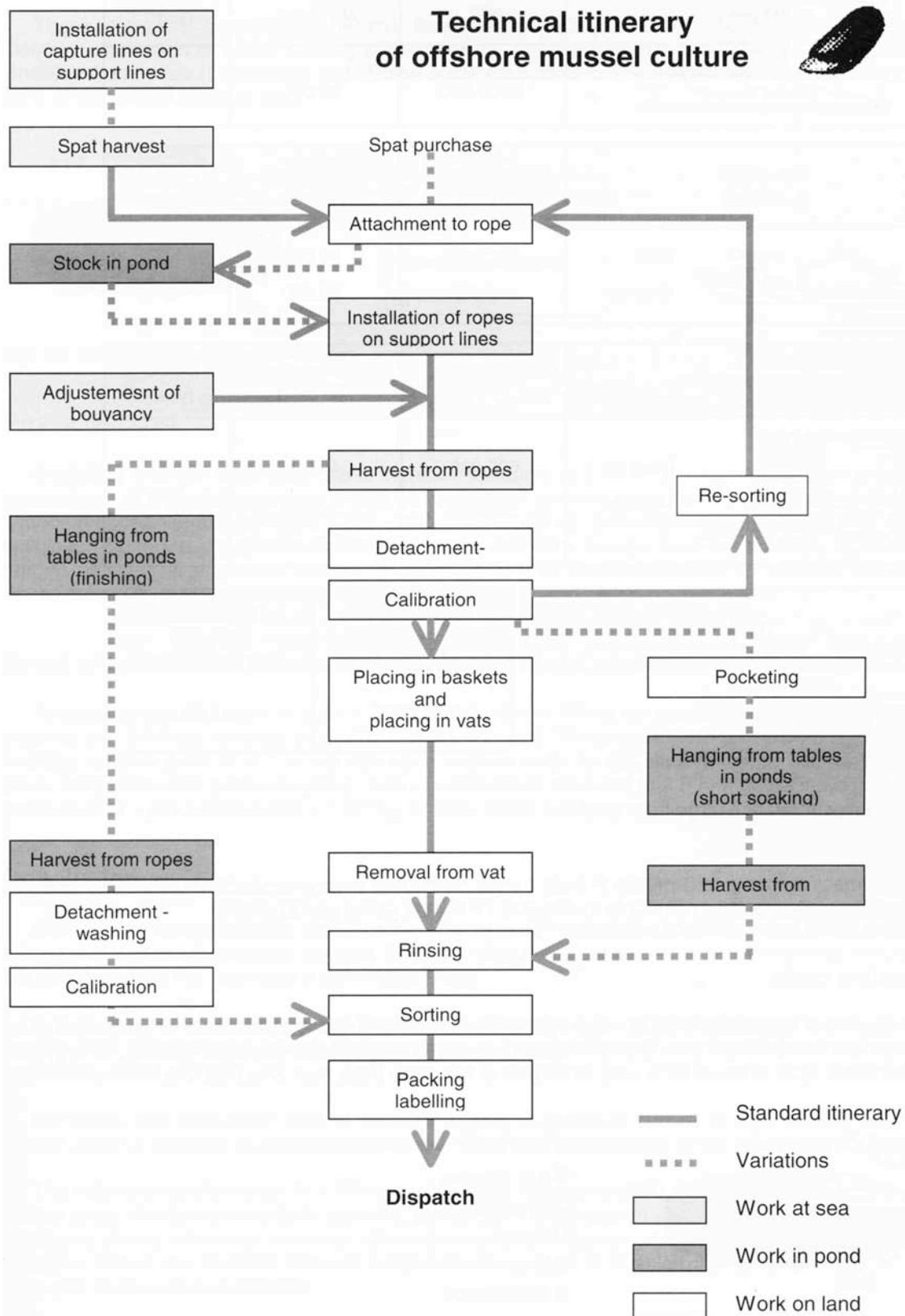


Abb. 46 Infrastruktur und Aufgaben einer intensiven Muschelzucht in Frankreich. Nach DANILOUX *et al.* (1997)

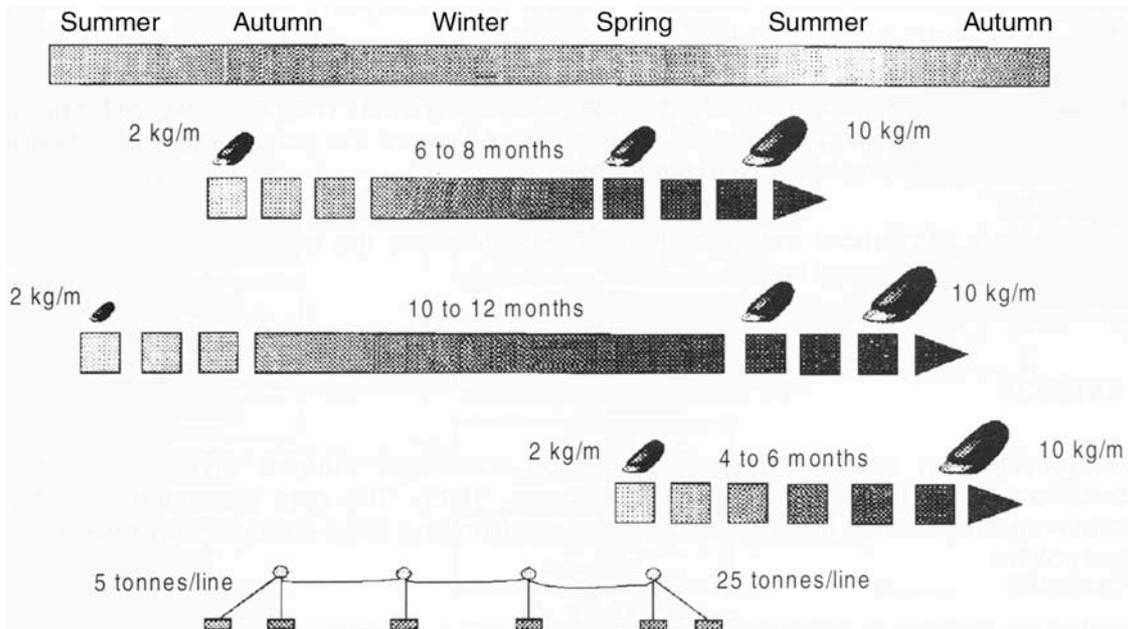


Abb. 47 Produktionszyklen in einer intensiven Muschelzucht in Frankreich. Nach DANILOUX *et al.* (1997)

Anhang II

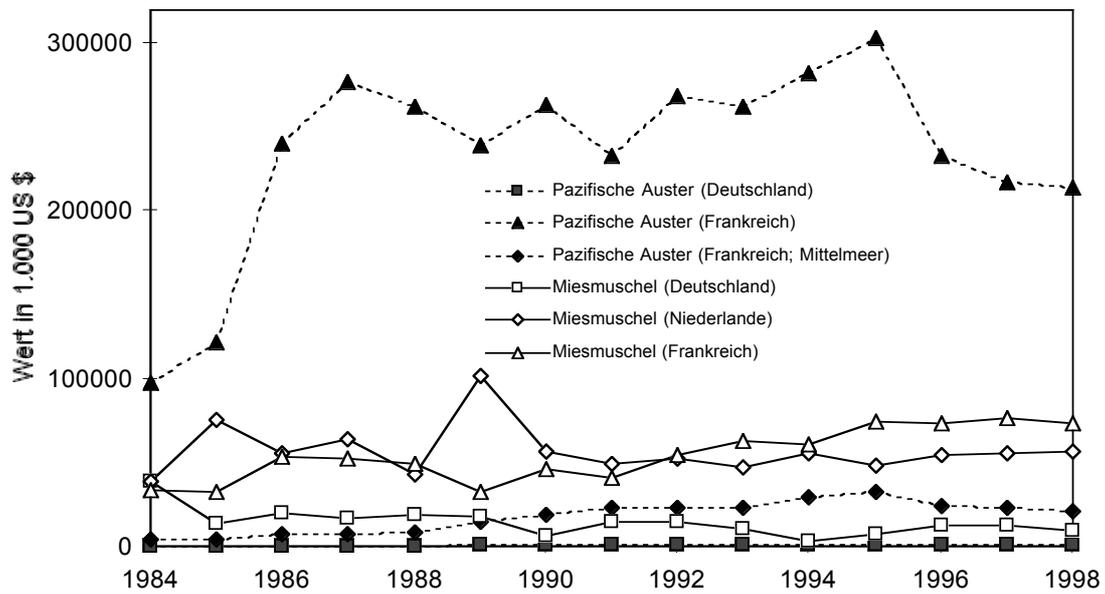


Abb. 48 Wert der produzierten Miesmuscheln und Austern in Frankreich, Niederlande und Deutschland (FAO, 2000)

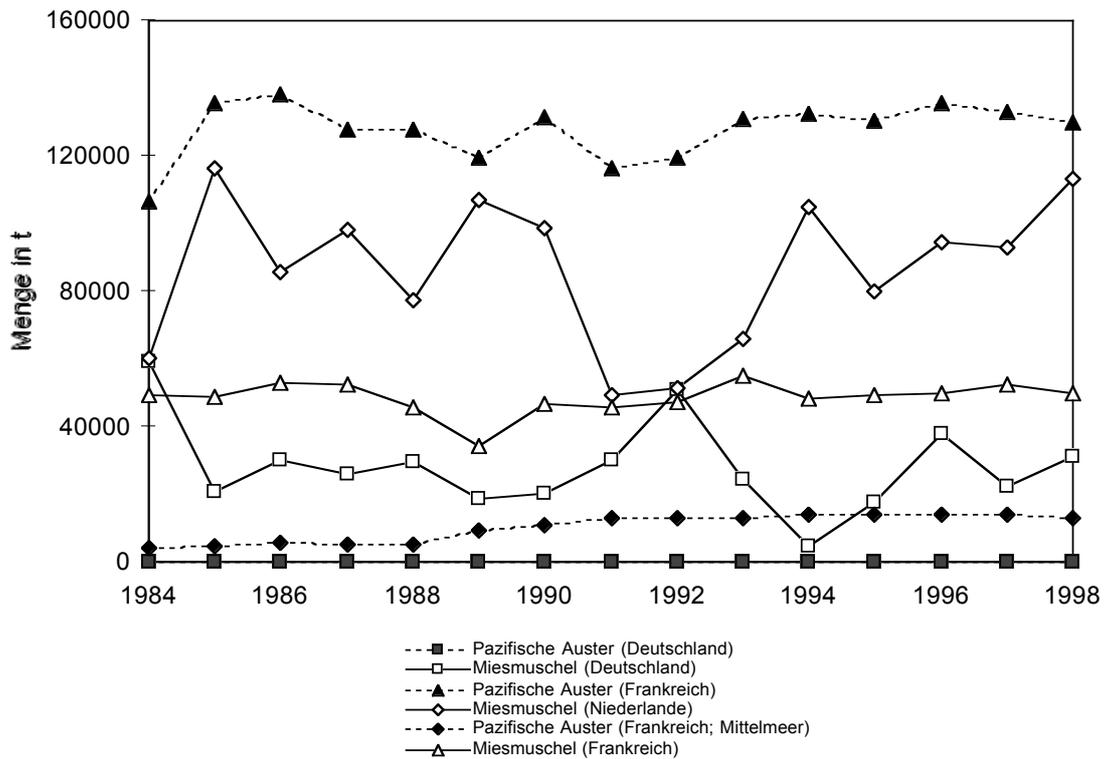


Abb. 49 Produktion von Miesmuscheln und Austern in Frankreich, Niederlande und Deutschland (FAO, 2000)

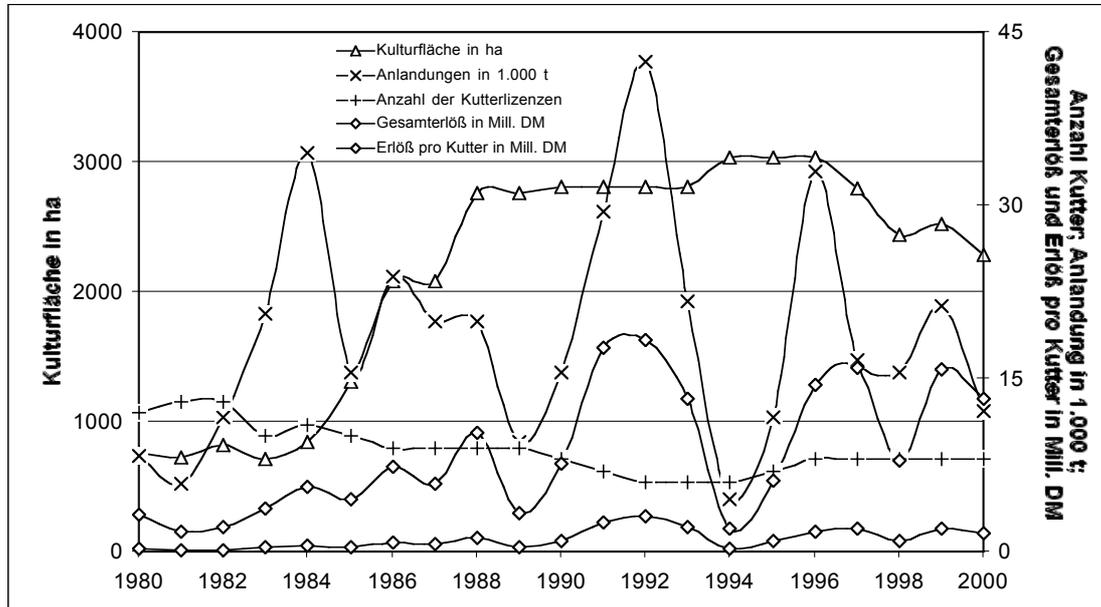


Abb. 50 Entwicklung der Miesmuschelfischerei in Schleswig-Holstein. Nach BORCHARDT (unveröffentlicht).

Literatur

- Aarsnes, J. V., Rudi, H. & Loland, G. (1990): Current Forces on Cages and Net Deflection. In: Telford, T. (Ed.): *Engineering for Offshore Fish Farming*. London. 137-152.
- Abouhala, A. & Boukabous, R. (1996): La consommation de poisson dans les pays de la Méditerranée. In: Valls, M. & Eleftheriou, A. (Eds.): *Marketing of Aquaculture Products*. Vol. 17, Zaragoza, CIHEAM, SELAM. 25-31.
- Ackefors, H. & Sodergren, A. (1985): Swedish Experiences of the Impact of Aquaculture on the Environment. *International Council of the Exploration of the Sea* (E: 40). 7 pp.
- Addison, J. T. & Bannister, R. C. A. (1994): Restocking and Enhancement of Clowed Lobster Stocks: A Review. *Crustaceana* 67(2). 131-155.
- AKVA (2001): Nordlysvn. 4 P.O.box 271, 4349 Bryne, Norway.
<http://www.liftup.no> oder <http://www.akva.no>
- Allen, J. H., Cook, M., Jackson, D. J., Preston, S. & Worth, E. M. (1976): Observations on the rate of production and mechanical properties of the byssus threads of *Mytilus edulis* L. *Journal of Molluscan Studies* 42. 279-289.
- Andrade, C. (1996a): A Fish Farm Pilot-project in Madaira Archipelago Northeastern Atlantic: I. The Offshore Option. In: Polk, M. (Ed.): *Open Ocean Aquaculture: Proceedings of an International Conference, May 8.-10., 1996, Portland, Maine*. UNHMP-CP-SG-96-9, Portland, New Hampshire/Maine Sea Grant College Program. 371-376.
- Andrade, C. (1996b): A Fish Farm Pilot-project in Madaira Archipelago Northeastern Atlantic: II. Environment Impact Assessment. In: Polk, M. (Ed.): *Open Ocean Aquaculture: Proceedings of an International Conference, May*

- 8.-10., 1996, Portland, Maine. UNHMP-CP-SG-96-9, Portland, New Hampshire/Maine Sea Grant College Program. 377-382.
- Aoyama, S. (1989): The Mutsu Bay Scallop Fisheries: Scallop Culture, Stock Enhancement and Resource Management. In: Caddy, J. F. (Ed.): *Marine Invertebrate Fisheries: Their Assessment and Management*. 525-539.
- Baker, D. & Jia, J. (2000): *Small Ponds Make a Big Difference. Integrating Fish with Crop and Livestock Farming. Some Basic Facts about Aquaculture*. FAO, Rome. 30 pp.
- Baldwin, K. C., Celikkol, B., Steen, R., Michelin, D., Muller, E. & Lavoie, P. (2000): Open Ocean Aquaculture Engineering: Mooring & Net Pen Development. *Marine Technology Society Journal* 34(1). 53-58.
- Baldwin, K. C. & Kraus, S. D. (1998): Marine Mammal - Gear Interactions: Problems, Acoustic Mitigation Strategies, Open Ocean Aquaculture. In: Howell, W. H., Keller, B. J., Park, P. K., McVey, J. P., Takayanagi, K. & Uekita, Y. (Eds.): *Nutrition and Technical Development of Aquaculture, Proceedings of the Twenty-Sixth U.S.-Japan Aquaculture Symposium, Durham/New Hampshire/USA September 16-18, 1997*. UJNR Technical Report No. 26, Durham, University of New Hampshire Sea Grant Program. 255-261.
- Bardach, J. E., Ryther, J. H. & McLarney, W. O. (1972): *Aquaculture. The Farming and Husbandry of Freshwater and Marine Organisms*. Science Editions, John Wiley & Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto. 868 pp.
- Basurco, B. (2001): Status of marine fish farming in the mediterranean aquaculture. The offshore alternative. Advanced Course on Mediterranean Off-Shore Mariculture, Centro Internacional de Altos Estudios Agronomico Mediterraneo (CIHAEM); Institutio Agronomico Mediterraneo de Zaragoza (IAMZ), Food and Agriculture Organisation (FAO), Zaragoza. 28 pp.

- Bauce, G. (1997): Italians Advance. *Fish Farming International* 24(10). 12-14.
- Beaz, D. (2001): Workboats and auxiliary platforms. Advanced Course on Mediterranean Off-Shore Mariculture, Centro Internacional de Altos Estudios Agronomico Mediterraneo (CIHAEM); Instituto Agronomico Mediterraneo de Zaragoza (IAMZ), Food and Agriculture Organisation (FAO), Zaragoza. 119 pp.
- Belle, S., Schubel, J. R. & Goudey, C. A. (1996): Boston Harbour Aquaculture - Boom or Bust? Report 96-1, New England Aquarium, Boston.
- Ben-Yami, M. (1997): Open Ocean Aquaculture - an Update. *Infofish International*. 521-25.
- Benetti, D. D., Clark, A. M. & Feeley, M. W. (1998): Feasibility of Selected Candidate Species of Marine Fish for Cage Aquaculture Development in the Gulf of Mexico with Novel Remote Sensing Techniques for Improved Offshore Systems Monitoring. In: Stickney, R. R. (Ed.): *Joining Forces With Industry - Open Ocean Aquaculture, Proceedings of the Third Annual International Conference, May 10-15, Corpus Christi, Texas*. TAMU-SG-99-103, Corpus Christi, Texas Sea Grant College Program. 103-119.
- Bergheim, A., Forsberg, O. I. & Sanni, S. (1993): *Biological Basis for Landbased Farming of Atlantic Salmon: Oxygen Consumption*. Fish Farming Technology, Trondheim.
- Best, N. A., Goudey, C. A. & Ericsson, J. D. (1996): Model Tests of the Sea Trek™ Barrel Cage. In: Polk, M. (Ed.): *Open Ocean Aquaculture: Proceedings of an International Conference, May 8.-10., 1996, Portland, Maine*. UNHMP-CP-SG-96-9, Portland, New Hampshire/Maine Sea Grant College Program. 399-419.
- BfN (2001): Seekarte der ökologisch besonders wertvollen marinen Gebiete im deutschen Nordseebereich. Bundesamt für Naturschutz, Außenstelle Vilm.

- BLE (2000): Der Markt für Fischereierzeugnisse in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 1999. *Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung*, Hamburg. 170 pp.
- BLE (unpublished): Der Markt für Fischereierzeugnisse in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 2000, Referat 521, Fischereiwirtschaft, *Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung*. Hamburg.
- BLE (2001a): Frischfischbericht 2000. *Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung*, Hamburg. 28 pp.
- BLE (2001b): Monatsbericht April 2001. *Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung*, Hamburg. 92 pp.
- BLE (2001c): Monatsbericht Mai 2001. *Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung*, Hamburg. 91 pp.
- Blunden, G. (1989): The future of outdoor cultivation. In: Kain, J. M., Andrews, J. W., & McGregor, B. J. (Eds.): *Outdoor Seaweed Cultivation, Proceedings of the Second Workshop of COST 48 Subgroup 1, Port Erin, Isle of Man, British Isles, 21-23 April, 1989*. COST 48, Commission of the European Countries, Brüssel, DG XII/F Biotechnology. 116-117.
- Bonardelli, J. C. (1996): Longline Shellfish Culture in Exposed and Drift-Ice Environments. In: Polk, M. (Ed.): *Open Ocean Aquaculture: Proceedings of an International Conference, May 8.-10., 1996, Portland, Maine*. UNHMP-CP-SG-96-9, Portland, New Hampshire/Maine Sea Grant College Program. 235-253.
- Borchardt, T. (unpublished): *Miesmuschelfischerei Schleswig-Holstein*. Tönning, Landesamt für den Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer.
- Boysen, H.-O. (1991): Standpunkt der Fischereiverwaltung Schleswig-Holstein. In: Dethlefsen, V. (Ed.): *SDN-Kolloquium, Probleme der Muschelfischerei im*

- Wattenmeer*. Wilhelmshaven, Schriftenreihe der Schutzgemeinschaft Deutsche Nordseeküste e. V. 50-52.
- Braginton-Smith, B. & Messier, R. H. (1998): Design Concepts for Integration of Open Ocean Aquaculture and Osprey™ Technology. In: Howell, W. H., Keller, B. J., Park, P. K., McVey, J. P., Takayanagi, K. & Uekita, Y. (Eds.): *Nutrition and Technical Development of Aquaculture, Proceedings of the Twenty-Sixth U.S.-Japan Aquaculture Symposium, Durham/New Hampshire/USA September 16-18, 1997*. UJNR Technical Report No. 26, Durham, University of New Hampshire Sea Grant Program. 239-245.
- Breed, B. (1994): *MNE. Inc. Mariculture Operations*. Houston.
- BSH (2000): Seekarte 1045 50^D, Deutsche Nordsee. Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg.
- Buchholz, C. & Lüning, K. (1999): Isolated, distal blade discs of the brown algae *Laminaria digitata* form sorus, but not discs, near to the meristematic transition zone. *Journal of Applied Phycology* 16. 579-584.
- Buck, B. & Smetacek, V. (unpublished): **SOSSEC - A Submersible Offshore Shellfish and Seaweed Cage**, Alfred Wegener Institute, Foundation for Polar and Marine Research, Bremerhaven, Germany.
- Bucklin, A. & Howell, W. H. (1998): Progress and Prospects from the University of New Hampshire Open Ocean Aquaculture Demonstration Project. In: Stickney, R. R. (Ed.): *Joining Forces With Industry - Open Ocean Aquaculture, Proceedings of the Third Annual International Conference, May 10-15, Corpus Christi, Texas*. TAMU-SG-99-103, Corpus Christi, Texas Sea Grant College Program. 7-30.
- Bugrov, L. (1996): Underwater Fish-Farming Technology for Open Sea Areas: Review of a 10-Year Experience. In: Polk, M. (Ed.): *Open Ocean Aquaculture: Proceedings of an International Conference, May 8.-10., 1996, Portland,*

- Maine*. UNHMP-CP-SG-96-9, Portland, New Hampshire/Maine Sea Grant College Program. 269-296.
- Buyanovskii, A. I. & Kulikova, V. A. (1984): Planktonic distribution of *Mytilus edulis* larvae and their settlement on collectors in Vostok Bay, Sea of Japan. *Soviet Journal of Marine Biology* 10(6). 350-354.
- Celikkol, B. (1999): Multipoint Mooring. *University of New Hampshire*,
- Chambers, M. D. (1998): Potential Offshore Cage Culture Utilizing Oil and Gas Platforms in the Gulf of Mexico. In: Hesley, C. (Ed.): *Open Ocean Aquaculture: Chartering the Future of Ocean Farming. Proceedings of an International Conference, April 23-25, 1997, Maui, Hawaii*. UNIH-SeaGrant-CP-98-08, Maui, University of Hawaii Sea Grant College Program. 77-87.
- Chambers, M. D. & Ostrowski, A. C. (1998): Development of Bluefin Trevally (*Caranx melampygus*) and Greater Amberjack (*Seriola dumerili*) for Offshore Aquaculture. In: Stickney, R. R. (Ed.): *Joining Forces With Industry - Open Ocean Aquaculture, Proceedings of the Third Annual International Conference, May 10-15, Corpus Christi, Texas*. TAMU-SG-99-103, Corpus Christi, Texas Sea Grant College Program. 132-141.
- Chaplin, C. R., Reading, U. & Del Vecchio, C. J. M. (1992): Appraisal of Lightweight Moorings for Deep Water. *OTC Paper* 189-196.
- Christensen, I. (2001): Nets for off-shore mariculture. Advanced Course on Mediterranean Off-Shore Mariculture, Centro Internacional de Altos Estudios Agronomico Mediterraneo (CIHAEM); Instituto Agronomico Mediterraneo de Zaragoza (IAMZ), Food and Agriculture Organisation (FAO), Zaragoza. 19 pp.
- Creswell, L. (2000): The Emergence of Aquaculture: Bridging the Gap. *Marine Technology Society Journal* 34(1). 3-4.
- CRM (2000): Umweltfreundliche Nutzung mariner Naturstoffe. *Aquakult, Coastal Research and Management*, Kiel. 6 pp.

- Croker, T. (1996): Economic Feasibility of Sea Farming: Operational Perspective. In: Polk, M. (Ed.): *Open Ocean Aquaculture: Proceedings of an International Conference, May 8.-10., 1996, Portland, Maine*. UNHMP-CP-SG-96-9, Portland, New Hampshire/Maine Sea Grant College Program. 151-172.
- Culliton, T. J., Warren, M. A., Goodspeed, T. R., Remer, D. G., Blackwell, C. M. & McDonough, J. J. (1990): Fifty Years of Population Change along the Nation's Coasts. *National Ocean Service - NOAA*, Rockville.
- Czybulka, D. & Kersandt, P. (2000): *Rechtsvorschriften, rechtliche Instrumentarien und zuständige Körperschaften mit Relevanz für marine Schutzgebiete ("Marine Protected Areas"/MPAs) in der Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) und auf Hoher See des OSPAR-Konventionsgebietes*. BfN - Skripten 27, Bundesamt für Naturschutz, Bonn. 93 pp.
- Dahle, L. A. (1991): Offshore Aquaculture Technology - Possibilities and Limitations. *Aquaculture and the Environment* 14. 83-84.
- Dahle, L. A. (1995): Offshore Fish Farming Systems. *Infofish International*. 225-30.
- Danioux, C., Loste, C. & Paquette, P. (1997): Offshore mollusc production in the Mediterranean basin. In: Muir, J. & Basurco, B. (Eds.): *Options méditerranéennes - Mediterranean offshore mariculture*. Etudes et recherches, Serie B, Numéro 30, Zaragoza, CIHEAM, INO Reproducciones. 115-140.
- Davis, D. A., Arnold, C. R. & Holt, G. J. (1998): Research Summary on Potential Mariculture Species for the Gulf of Mexico. In: Stickney, R. R. (Ed.): *Joining Forces With Industry - Open Ocean Aquaculture, Proceedings of the Third Annual International Conference, May 10-15, Corpus Christi, Texas*. TAMU-SG-99-103, Corpus Christi, Texas Sea Grant College Program. 120-131.

- Deutsch, L., Jansson, Å., Troell, M., Rönnbäck, P., Folke, C. & Kautsky, N. (2000): The 'ecological footprint': communicating human dependence on nature's work. *Ecological Economics* 32. 351-355.
- DeVoe, M. R. (2000): Marine Aquaculture in the United States: A Review of Current and Future Policy and Management Challenges. *Marine Technology Society Journal* 34(1). 5-17.
- DeVoe, M. R. & Mount, A. S. (1989): An Analysis of Ten State Aquaculture Leasing Systems: Issues and Strategies. *Journal of Shellfish Research* 8(1). 233-239.
- Dougall, D. (1998): Platforms and Fish Pens - An Operator's Perspective. In: Stickney, R. R. (Ed.): *Joining Forces With Industry - Open Ocean Aquaculture, Proceedings of the Third Annual International Conference, May 10-15, Corpus Christi, Texas*. TAMU-SG-99-103, Corpus Christi, Texas Sea Grant College Program. 39-43.
- Drawbridge, M. A. & Kent, D. B. (1998): The White Seabass (*Atractoscion nobilis*) as a Candidate Species for Open Ocean Culture: A Review based on four Years of Culture in Nearshore Cages. In: Hesley, C. (Ed.): *Open Ocean Aquaculture: Chartering the Future of Ocean Farming. Proceedings of an International Conference, April 23-25, 1997, Maui, Hawaii*. UNIH-SeaGrant-CP-98-08, Maui, University of Hawaii Sea Grant College Program. 203-211.
- Dubi, A. & Tørum, A. (1994): Wave dumping by kelp vegetation. 24. International Conference on Coastal Engineering, Kobe, Japan, 23-28 October, 1994, Kobe. 16 pp.
- Dudley, R. W., Panchang, V. G. & Newell, C. R. (1998): AWATS: A Net-Pen Aquaculture Waste Transport Simulator for Management Purposes. In: Howell, W. H., Keller, B. J., Park, P. K., McVey, J. P., Takayanagi, K. & Uekita, Y. (Eds.): *Nutrition and Technical Development of Aquaculture, Proceedings of the Twenty-Sixth U.S.-Japan Aquaculture Symposium, Durham/New Hampshire/USA September 16-18, 1997*. UJNR Technical

- Report No. 26, Durham, University of New Hampshire Sea Grant Program. 215-228.
- Dupuoy, H. (1983): Le Pectiniculture à Saint Pierre et Miquelon. *Science et Pêche Bull. Ins. Pêches Marit* (France). 13 pp.
- EPRI (1990): A summary description of the second workshop on the role of macroalgal oceanic farming in global change. Cal. OCBD-7303, *Electric Power Research Institute (EPRI)*, Palo Alto. 58 pp.
- Ericsson, J. D. (1998): Proposed Gulf of Mexico Finfish Mariculture Experiment. In: Stickney, R. R. (Ed.): *Joining Forces With Industry - Open Ocean Aquaculture, Proceedings of the Third Annual International Conference, May 10-15, Corpus Christi, Texas*. TAMU-SG-99-103, Corpus Christi, Texas Sea Grant College Program. 52-58.
- FAO (1989): Aquaculture production. *Fisheries Circular* No. 815, Food and Agriculture Organisation (FAO), Rome.
- FAO (1990): *Yearbook of Fishery Statistics*. Food and Agriculture Organisation (FAO), Rome.
- FAO (1998): Committee on Fisheries. Item 5 of the Provisional Agenda, *Food and Agriculture Organisation (FAO)*, Bremen. 33 pp.
- FAO (1999a): *Aquaculture Production Statistics 1988-1997*. FAO Fisheries Circulars, Food and Agriculture Organisation (FAO), Rome.
- FAO (1999b): *The State of the World Fisheries and Aquaculture 1998*. FAO Fisheries Circulars, Food and Agriculture Organisation (FAO), Rome.
- FAO (1999c): *Yearbook of Fishery Statistics: Summary tables. Tables from 1990-1999*, Food and Agriculture Organisation (FAO), Rome.
- FAO (2000): Fishstat - Fishery Information, Data and Statistical Unit. Universal Software for Fishery Statistical Time Series (2.3), Rome, Food and Agriculture Organisation (FAO), Fisheries Department.

- FARMOCEAN (1996): Farmocean International, Producer of Aquaculture equipment. Farmocean International AB, P.O.Box 101 54, S-434 22 Kungsbacka, Sweden. <http://www.farmocean.se>
- Fehrmann, C., Blaschek, W. & Pohl, P. (1993): Algen gegen Schwermetalle: ein Beitrag zum Umweltschutz. *Pharmazeutische Zeitung* 138. 2073-2079.
- Fernandes, T. F., Miller, K. L. & Read, P. A. (2000): Monitoring and Regulation of Marine Aquaculture in Europe. *Journal of Applied Ichthyology* 16. 138-143.
- Figueraz, A., Robledo, J. A. F. & Novoa, B. (1996): Brown Ring Disease and Parasites in Clams (*Ruditapes decussatus* and *R. philippinarum*) from Spain and Portugal. *Journal of Shellfish Research* 15(2). 363-368.
- Filhol, A. (1996): The perspectives on world trade regulations. In: Valls, M. & Eleftheriou, A. (Eds.): *Marketing of Aquaculture Products*. Volume 17, Zaragoza, CIHEAM, SELAM. 67-83.
- Fischer, H. (1983): Shell weight as an independent variable in relation to cadmium content of molluscs. *Marine Ecology Progress Series* 12. 59-75.
- Forster, J. (1995a): Cost trends in farmed salmon. State of Alaska, Department of Commerce and Economic Development. Juneau, Alaska.
- Forster, J. (1995b): Developing offshore aquaculture in the Strait of Juan de Fuca. Sustainable Aquaculture 95: Proceedings PACON Honolulu Hawaai, Honolulu. 153 pp.
- Frederiksson, D. W., Swift, M. R., Muller, E., Baldwin, K. C. & Celikkol, B. (2000): Open Ocean Aquaculture Engineering: System Design and Physical Modeling. *Marine Technology Society Journal* 34(1). 41-52.
- Fredriksson, D. W., Muller, E., Swift, R., Tsukrov, I. & Celikkol, B. (1999): Offshore Grid Mooring/Net Pen System: Design and Physical Model Testing. In: *Proceedings of the 18th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*.

- Fukoshu, K. (1996): Present Status and View of Fry Production Technology for Marine Finfish in Japan. *Suisanzoshoku* 44(4). 539-546.
- Gausen, D. & Moen, V. (1991): Large-scale Escapes of Farmed Atlantic Salmon *Salmo salar* into Norwegian Rivers Threaten Natural Populations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 48. 420-426.
- Gignoux, H. & Messier, R. H. (1998): Computational Model of Aquaculture Finfish Net-Pens. In: Hesley, C. (Ed.): *Open Ocean Aquaculture: Chartering the Future of Ocean Farming. Proceedings of an International Conference, April 23-25, 1997, Maui, Hawaii*. UNIH-SeaGrant-CP-98-08, Maui, University of Hawaii Sea Grant College Program. 107-129.
- Glaus, K. J. (1968): Factors influencing the production of byssus threads in *Mytilus edulis*. *Biological Bulletin* 135. 420 p.
- Goldburg, R. & Triplett, T. (1997): Off the Hook: Environmentally Friendly Aquaculture. In: *Murky Waters: Environmental Effects of Aquaculture in the US*. Environmental Defence Fond (EDF). 63-85.
- Goldstein, J. S. (1998): North American Lobster Culture (*Homarus americanus*), Hatchery Methods and Techniques: A Tool for Marine Stock Enhancement? In: Howell, W. H., Keller, B. J., Park, P. K., McVey, J. P., Takayanagi, K. & Uekita, Y. (Eds.): *Nutrition and Technical Development of Aquaculture, Proceedings of the Twenty-Sixth U.S.-Japan Aquaculture Symposium, Durham/New Hampshire/USA September 16-18, 1997*. UJNR Technical Report No. 26, Durham, University of New Hampshire Sea Grant Program. 263-267.
- Gosling, E. (1992): *The Mussel Mytilus: Ecology, Physiology, Genetics and Culture*. Elsevier, Amsterdam, London, New York, Tokyo. 589 pp.
- Gosz, M., Kestler, K., Swift, R. & Celikkol, B. (1996): Finite Element Modeling of Aquaculture Net Pens. In: Polk, M. (Ed.): *Open Ocean Aquaculture: Proceedings of an International Conference, May 8.-10., 1996, Portland,*

- Maine*. UNHMP-CP-SG-96-9, Portland, New Hampshire/Maine Sea Grant College Program. 523-541.
- Goudey, C. (1999): Engineering Summary. *Sea Grant of Mexico Offshore Aquaculture Consortium*, MIT Sea Grant
- Goudey, C. A. (1998): Design and Analyses of a Self-Propelled Open Ocean Fish Farm. In: Stickney, R. R. (Ed.): *Joining Forces With Industry - Open Ocean Aquaculture, Proceedings of the Third Annual International Conference, May 10-15, Corpus Christi, Texas*. TAMU-SG-99-103, Corpus Christi, Texas Sea Grant College Program. 65-77.
- Goudey, C. A. & Smolowitz, R. J. (1996): Open Ocean Aquaculture of Sea Scallops Off New England. In: Polk, M. (Ed.): *Open Ocean Aquaculture: Proceedings of an International Conference, May 8.-10., 1996, Portland, Maine*. UNHMP-CP-SG-96-9, Portland, New Hampshire/Maine Sea Grant College Program. 179-192.
- Grau, A., Crespo, S., Riera, F., Pou, S. & Saraquete, M. C. (1996): Oogenesis in the Amberjack *Seriola dumerili*: An Histological, Histochemical and Ultrastructural Study of Oocyte Development. *Scientia Marina* 60(2-3). 391-406.
- Greco, S., Caridi, S., Cammaroto, S. & Genovese, L. (1993): Preliminary studies on artificial feeding of mamberjack fingerlings. *Production, Environment and Quality - Gent. European Aquaculture Society* 18. 247-254.
- Guiry, M. D. (1974): A preliminary consideration of the taxonomic position of *Palmaria palmata* (Linnaeus) Stackhouse = *Rhododymenia palmata* (Linnaeus) Greville. *Journal of Marine Biology Association* 54. 509-528.
- Guiry, M. D. & Blunden, G. (1991): *Seaweed Resources in Europe: Uses and Potential*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester. 432 pp.
- Harvey, D. J. (1994): Outlook for U.S. Aquaculture. *Outlook '94, Session 20*. U.S. Dept. Agriculture, Washington D. C.

- Harvey, M., Bouget, E. & Ingram, R. G. (1995): Experimental evidence of passive accumulation of marine bivalve larvae on filamentous epibenthic structures. *Limnology and Oceanography* 40. 94-104.
- Hasegawa, Y. (1971): Forced cultivation of *Laminaria*. *Bulletin of Hokkaido Regular Fisheries Research and Laboratories* 37. 49-52.
- Herlyn, M. & Michaelis, H. (2001): *Untersuchung zur Entwicklung von Miesmuschelbeständen der niedersächsischen Watten unter Berücksichtigung der Miesmuschelfischerei*. Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Umweltplanung/Ökologie; Forschungsplan 108 02 085/21, Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Forschungsstelle Küste.
- Herlyn, M. & Millat, G. (2000): Decline of the intertidal blue mussel (*Mytilus edulis*) stock at the coast of Lower Saxony (Wadden Sea) and influence of mussel fishery on the development of young mussel beds. *Hydrobiologia* 426. 203-210.
- Hickman, R. W. (1992): Mussel cultivation. In: Gosling, E. (Ed.): *The Mussel Mytilus: Ecology, Physiology, Genetics and Culture*. Amsterdam, London, New York, Tokyo, Elsevier. 465-510.
- Hjul, P. (1997): Greece leads med charge. *Fish Farming International* 24(9). 22-23.
- Holt, T. J. & Dawes, C. P. (1989): Cultivation of Laminariales in the Irish Sea. In: Kain, J. M. Andrews, J. W. & McGregor, B. J. (Eds.): *Outdoor Seaweed Cultivation, Proceedings of the Second Workshop of COST 48 Subgroup 1, Port Erin, Isle of Man, British Isles, 21-23 April, 1989*. COST 48, Commission of the European Countries, Brüssel, DG XII/F Biotechnology. 34-37.
- Howell, W. H. (1980): Temperature Effects on Growth and Yolk Utilization in Yellowtail Flounder (*Limanda ferruginea*), Yolk-sac Larvae. *Fisheries Bulletin* 78. 731-739.

- Howell, W. H. (1996): Reactions of Cod in Submerged Pens. In: Polk, M. (Ed.): *Open Ocean Aquaculture: Proceedings of an International Conference, May 8.-10., 1996, Portland, Maine*. UNHMP-CP-SG-96-9, Portland, New Hampshire/Maine Sea Grant College Program. 363-370.
- Huguenin, J. E. (1994): Cage Culture Systems. In: Mackinlay, D. (Ed.): *Hi-Tech Aquaculture: An Introduction in State-of-the-Art Systems*. American Fisheries Society. 63 pp.
- IOS (2000): Institute of Ocean Sciences, Policy & Communications Branch, Suite 400, 555 West Hastings Street, Vancouver, B.C. V6B 5G3, Canada. http://www.ios.bc.ca/ios/plankton/ios_tour/phyt_lab/rt_post.htm
- Itsazi (2001): Javier Barkaiztegui 11, Guipuzcoa, 20010 San Sebastian, Spain. <http://www.itzasi.com/fragata.html>
- Jagnow, B. & Gosselck, F. (1987): Bestimmungsschlüssel für die Gehäuseschnecken und Muscheln der Ostsee. *Mitteilungen des Zoologischen Instituts Berlin* 63. 191-268.
- Jensen, A. (1993): Present and future needs for algae and algal products. *Hydrobiologia* 260/261. 15-23.
- Johnson, W. & Breed, B. (1998): Open Ocean Aquaculture - An Oil Company Perspective. In: Stickney, R. R. (Ed.): *Joining Forces With Industry - Open Ocean Aquaculture, Proceedings of the Third Annual International Conference, May 10-15, Corpus Christi, Texas*. TAMU-SG-99-103, Corpus Christi, Texas Sea Grant College Program. 59 pp.
- Josupeit, H. (1996): Global overview on fish consumption. In: Valls, M. & Eleftheriou, A. (Eds.): *Marketing of Aquaculture Products*. Vol. 17, Zaragoza, CIHEAM, SELAM. 9-23.
- Kafuku, T. & Ikenoue, H. (1983): *Modern Methods of Aquaculture in Japan*. Developments in Aquaculture and Fisheries Science, Elsevier, Amsterdam.

- Kahle, J. (1998): Die Festigkeit des Byssus von *Mytilus edulis* L. auf Muschelbänken der niedersächsischen Watten. *Forschungszentrum Terramare, Berichte Nr. 8*, Wilhelmshaven. 54 pp.
- Kain, J. M. & Dawes, C. P. (1987): Useful European seaweeds: past hopes and present cultivation. *Hydrobiologia* 151/152:173-181.
- Katz, A. (1994): *Aquaculture - International Examples of Success and Failure and Their Lessons for the United States*. OTA-BP96-108435, National Technical Information Service, Springfield.
- Kautzky, N. (1982): Growth and size structure in a Baltic *Mytilus edulis* L. population. *Marine Biology* 68. 117-133.
- Kawamata, S. (1998): Engineering techniques for enhancement of nearshore rocky habitats for sea urchin and abalone aquaculture. In: Howell, W. H., Keller, B. J., Park, P. K., McVey, J. P., Takayanagi, K. & Uekita, Y. (Eds.): *Nutrition and Technical Development of Aquaculture, Proceedings of the Twenty-Sixth U.S.-Japan Aquaculture Symposium, Durham/New Hampshire/USA September 16-18, 1997*. UJNR Technical Report No. 26, Durham, University of New Hampshire Sea Grant Program. 229-237.
- Kawashima, S. (1984): Kombu cultivation in Japan for human foodstuff. *Japan Journal of Phycology* 32. 379-394.
- Kazufumi, T. (1998): Water Quality Guidelines for Aquaculture: An Example in Japan. In: Howell, W. H., Keller, B. J., Park, P. K., McVey, J. P., Takayanagi, K. & Uekita, Y. (Eds.): *Nutrition and Technical Development of Aquaculture, Proceedings of the Twenty-Sixth U.S.-Japan Aquaculture Symposium, Durham/New Hampshire/USA September 16-18, 1997*. UJNR Technical Report No. 26, Durham, University of New Hampshire Sea Grant Program. 247-254.

- Kenny, A. J. & Rees, H. L. (1996): The effects of marine gravel extraction on the macrobenthos: results of two years post-dredging. *Marine Pollution Bulletin* 32. 615-622.
- Kikuchi, K. (1998): Blue Mussels in the Diet of Juvenile Japanese Flounder. In: Howell, W. H., Keller, B. J., Park, P. K., McVey, J. P., Takayanagi, K. & Uekita, Y. (Eds.): *Nutrition and Technical Development of Aquaculture, Proceedings of the Twenty-Sixth U.S.-Japan Aquaculture Symposium, Durham/New Hampshire/USA September 16-18, 1997*. UJNR Technical Report No. 26, Durham, University of New Hampshire Sea Grant Program. 269-274.
- Kikuchi, K. & Sakaguchi, I. (1997): Blue Mussel as an Ingredient in the Diet of Juvenile Japanese Flounder. *Fisheries Science* 63. 837-838.
- Kim, B. G., Ostrowski, A. C. & Brownell, C. (1993): Review of Hatchery Design and Techniques Used at the Oceanic Institute for Intensive Culture of the Mahimahi (*Corphaena hippurus*) on a Commercial Scale. In: Lee, C. S., Su, M.-S. & Liao, I. C. (Eds.): *Finfish Hatchery in Asia '91*. TML Conference Proceedings, Hawaii, Tungking Marine Laboratory, TFRI, Taiwan and the Oceanic Institute. 179-190.
- Kinne, O. (1991): Aquakultur und die Ernährung von Morgen. In: Hempel, G. (Ed.): *Biologie der Meere*. Spektrum der Wissenschaft: Verständliche Forschung, Heidelberg, Berlin, New York, Spektrum Akademischer Verlag. 188-197.
- Kirst, G. O. & Kremer, B. P. (1991): Algen: neue Nutz- und Kulturpflanzen. In: Hempel, G. (Ed.): *Biologie der Meere*. Spektrum der Wissenschaft: Verständliche Forschung, Heidelberg, Berlin, New York, Spektrum Akademischer Verlag. 198-209.
- Kleinsteuber, H. & Will, K. R. (1988): Populationsdynamik der Miesmuschel und Entwicklung der Miesmuschel in den Wattengebieten der Nordsee unter

besonderer Berücksichtigung der niedersächsischen Küste. *Landesfischereiverband Weser-Ems e.V.*, Oldenburg.

Kraus, S., Read, A. D., Solow, A., Baldwin, K., Spradlin, T. Anderson, E., Williamson, J. (1997): Acoustic Alarms Reduce Porpoise Mortality. *Nature* 388. 525 p.

Kruse, B. J. (1998): MMS Liability Issues and Bonding Associated with Offshore Platforms. In: Stickney, R. R. (Ed.): *Joining Forces With Industry - Open Ocean Aquaculture, Proceedings of the Third Annual International Conference, May 10-15, Corpus Christi, Texas*. TAMU-SG-99-103, Corpus Christi, Texas Sea Grant College Program. 46 pp.

Langan, R., Jones, S. H., Frick, G. E., Morris, D. E. & Whitten, J. J. (1992): Potential for an Aquaculture-based Oyster Fishery in New Hampshire. *Journal of Shellfish Research* 13.

Lee, P. G. & Turk, P. E. (1998): Overview of a Modern, Shore-Based Hatchery for Offshore Mariculture Support. In: Stickney, R. R. (Ed.): *Joining Forces With Industry - Open Ocean Aquaculture, Proceedings of the Third Annual International Conference, May 10-15, Corpus Christi, Texas*. TAMU-SG-99-103, Corpus Christi, Texas Sea Grant College Program. 87-102.

Lesser, M. P. & Shumway, S. (1993): Effects of Toxic Dinoflagellates on Clearance Rates and Survival in Juvenile Bivalve Molluscs. *Journal of Shellfish Research* 12(3). 77 pp.

Lesser, M. P., Shumway, S., Cucci, T. & Smith, J. (1992): Impact of Fouling Organisms on Mussel Rope Culture: Interspecific Competition for Food among Suspension Feeding Invertebrates. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 165. 91-102.

Lien, E., Rudi, H., Slaattelid, O. & Kolberg, D. (1996): Flexible Mooring with Multiple Buoys. In: Polk, M. (Ed.): *Open Ocean Aquaculture: Proceedings of an International Conference, May 8.-10., 1996, Portland, Maine*. UNHMP-CP-

- SG-96-9, Portland, New Hampshire/Maine Sea Grant College Program. 93-105.
- Lien, J. (1994): Entrapments of Large Cetaceans in Passive Inshore Fishing Gear in Newfoundland and Labrador (1979-1990). In: *Report of the International Whaling Commission*. Special Issue 15.
- Lima Dos Santos, C. A. (1996): Quality norms for aquaculture products: Trends on restriction problems. In: Valls, M. & Eleftheriou, A. (Eds.): *Marketing of Aquaculture Products*. Volume 17, Zaragoza, CIHEAM, SELAM. 85-92.
- Lisac, D. (1996): Recent Developments in Open Sea Cages - Practical Experience with the Tension-Leg Cage. In: Polk, M. (Ed.): *Open Ocean Aquaculture: Proceedings of an International Conference, May 8.-10., 1996, Portland, Maine*. UNHMP-CP-SG-96-9, Portland, New Hampshire/Maine Sea Grant College Program. 513-522.
- Loland, G. & Goudey, C. A. (1996): Design and Operation of an Offshore Sea Farming System. In: Polk, M. (Ed.): *Open Ocean Aquaculture: Proceedings of an International Conference, May 8.-10., 1996, Portland, Maine*. UNHMP-CP-SG-96-9, Portland, New Hampshire/Maine Sea Grant College Program. 495-512.
- Loo, L.-O. & Rosenberg, R. (1983): *Mytilus edulis* culture: growth and production in western Sweden. *Aquaculture* 35. 137-150.
- Loverich, G. (1991a): Materials for Retention and Attachment Devices for Offshore Mariculture Systems. In: *Workshop on the Engineering Research Needs for Off-Shore Mariculture Systems*. Honolulu, National Science Foundation.
- Loverich, G. F. (1991b): Fish Hunter and Fish Farmer Cooperation. *Fish Farmers International* 4. 1-3.
- Loverich, G. F. (1997): A Summary of the Case against the Use of Gravity Cages in the Sea Farming Industry. Nr. 091997. 8 pp.

- Loverich, G. F. (1998a): Recent Practical Experiences with Ocean Spar^R Offshore Sea Cages. In: Stickney, R. R. (Ed.): *Joining Forces With Industry - Open Ocean Aquaculture, Proceedings of the Third Annual International Conference, May 10-15, Corpus Christi, Texas*. TAMU-SG-99-103, Corpus Christi, Texas Sea Grant College Program. 78-79.
- Loverich, G. F. (1998b): Recycling the Waste Stream Form by Sea Farms. Nr. 012398. 3 pp.
- Loverich, G. F. (1998c): Stocking Density of Sea Cages. *Ocean Spar Technologies*. 5 pp.
- Loverich, G. F. & Croker, T. (1997): Ocean Spar Net Pen Systems: 32 Months of Offshore Operations. 11 pp.
- Loverich, G. F. & Forster, J. (2000): Advances in Offshore Cage Design using Spar Buoys. *Marine Technology Society Journal* 34(1). 18-28.
- Loverich, G. F. & Gace, L. (1998): The Effect of Currents and Waves on Several Classes of Offshore Sea Cages. In: Hesley, C. (Ed.): *Open Ocean Aquaculture: Chartering the Future of Ocean Farming. Proceedings of an International Conference, April 23-25, 1997, Maui, Hawaii*. UNIH-SeaGrant-CP-98-08, Maui, University of Hawaii Sea Grant College Program. 131-144.
- Lüning, K. (1985): *Meeresbotanik*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York. 378 pp.
- Lüning, K. & Buchholz, C. (1996): Massenkultur mariner Makroalgen bei Helgoland zur Gewinnung von Phykokolloiden und zur Verwendung als Biosorptionsmittel. *BAH*, Helgoland. 75 pp.
- Lüning, K., Wagner, A. & Buchholz, C. (2000): Evidence for inhibitors of sporangium formation in *Laminaria digitata* (Phaeophyceae) during the season of rapid growth. *Journal of Phycology* 36. 1129-1134.

- Macleán, J. L. (1993): Developing country aquaculture and harmful algal blooms. In: Pullin, R. S. V., Rosenthal, H. & Macleán, J. L. (Eds.): *Environment and Aquaculture in Developing Countries*. ICLARM Conference Proceedings, Manila, ICLARM. 252-284.
- Main, K. L. & Rosenfeld, C. (1995): Introduction. In: *Culture of High-Value Marine Fishes in Asia and the United States*. Makapuu Point, Oceanic Institute. 3-44.
- Manfort, M. C. (1994): *The status of fishery products as food, hypotheses for fish consumption in 2010 and related policy options and development support requirements*. Food and Agriculture Organisation (FAO), Rome. 64 pp.
- Martinez, A. G., Rodriques Vazquez, J. A., Thibault, P. & Quilliam, M. A. (1996): Simultaneous Occurrence of Diarrhetic and Paralytic Shellfish Poisoning Toxins in Spanish Mussels in 1993. *Natural Toxins* 4(2). 72-79.
- Masuma, S., Kanematu, M. & Teruya, K. (1990): Embryonic and Morphological Development of Larvae and Juveniles of the Amberjack, *Seriola dumerili*. *Japanese Journal of Ichthyology* 37(2). 164-169.
- Matlock, G. (1998): NOAA Fisheries and Aquaculture. In: Stickney, R. R. (Ed.): *Joining Forces With Industry - Open Ocean Aquaculture, Proceedings of the Third Annual International Conference, May 10-15, Corpus Christi, Texas*. TAMU-SG-99-103, Corpus Christi, Texas Sea Grant College Program. 63-64.
- Matveev, S. & Bugrov, L. (1996): Automation of Fish Farming Processes for Offshore Cages. In: Polk, M. (Ed.): *Open Ocean Aquaculture: Proceedings of an International Conference, May 8.-10., 1996, Portland, Maine*. UNHMP-CP-SG-96-9, Portland, New Hampshire/Maine Sea Grant College Program. Abstract.
- McElwee, J. (1996): Offshore Salmon Farming: The Good, the Bad and the Ugly. In: Polk, M. (Ed.): *Open Ocean Aquaculture: Proceedings of an International Conference, May 8.-10., 1996, Portland, Maine*. UNHMP-CP-

- SG-96-9, Portland, New Hampshire/Maine Sea Grant College Program. 193-201.
- McElwee, J. (1998a): Practical Experiences in Off-Shore Cage Rearing, The Good, the Bad and the Ugly. In: Hesley, C. (Ed.): *Open Ocean Aquaculture: Chartering the Future of Ocean Farming. Proceedings of an International Conference, April 23-25, 1997, Maui, Hawaii*. UNIH-Sea Grant-CP-98-08, Maui, University of Hawaii Sea Grant College Program. 239-249.
- McElwee, J. (1998b): The Sociological and Environmental Impacts of Open Ocean Aquaculture. In: Stickney, R. R. (Ed.): *Joining Forces With Industry - Open Ocean Aquaculture, Proceedings of the Third Annual International Conference, May 10-15, Corpus Christi, Texas*. TAMU-SG-99-103, Corpus Christi, Texas Sea Grant College Program. 31-35.
- McVey, J. P. (1996): Overview of Offshore Aquaculture. In: Polk, M. (Ed.): *Open Ocean Aquaculture: Proceedings of an International Conference, May 8.-10., 1996, Portland, Maine*. UNHMP-CP-SG-96-9, Portland, New Hampshire/Maine Sea Grant College Program. 13-18.
- Meixner, R. (1971): Wachstum und Ertrag von *Mytilus edulis* bei der Floßkultur in der Flensburger Förde. *Archiv für Fischereiwissenschaften* 12(1). 41-50.
- Merck, T. & von Nordheim, H. (2000): Mögliche Probleme von Offshore-Windenergieanlagen aus Naturschutzsicht. In: Merck, T. & von Nordheim, H. (Eds.): *Technische Eingriffe in marine Lebensräume*. BFN - Skripten 29, Tagungsband, Bonn, Bundesamt für Naturschutz. 88-99.
- Merino, G. (1996): Diseño de Sistemas para Cultivo de Moluscos en Ambiente Natural. In: *9° Curso Internacional de Cultivo de Moluscos*. Coquimbo, Universidad Católica del Norte. 249-256.
- Merino, G. E. (1998): Considerations for Longline Culture Systems Design: Scallops Production. In: Hesley, C. (Ed.): *Open Ocean Aquaculture: Chartering the Future of Ocean Farming. Proceedings of an International*

- Conference, April 23-25, 1997, Maui, Hawaii. UNIH-Sea Grant-CP-98-08, Maui, University of Hawaii Sea Grant College Program. 145-154.*
- Micale, V., Genovese, L., Greco, S. & Perdichizzi, F. (1993): Aspects of the Reproductive Biology of the Amberjack, *Seriola dumerili*. *Production, Environment and Quality – Oostende. European Aquaculture Society* 19(413).
- Michaelis, H., Obert, B., Schrötenkötter, E. & Böcker, L. (1995): Die Miesmuschelbestände der niedersächsischen Watten 1989-91. Berichte der Forschungsstelle Küste, Band 40, *Niedersächsisches Landesamt für Ökologie*,
- Miget, R. J. (1994): The Development of Marine Fish Cage Culture in Association with Offshore Oil Rigs. In: *Culture of High Value Marine Fishes in Asia and the United States, Proceedings of a Workshop in Honolulu. 241-248.*
- Mileikovsky, S. A. (1973): Speed of active movement of pelagic larvae of marine bottom invertebrates and their ability to regulate their vertical position. *Marine Biology* 23. 11-17.
- Milne, P. H. (1970): Fish Farming: A Guide to the Design and Construction of Net Enclosers. In: Marine Research Nr. 1, Edinburgh, Dept. of Agriculture and Fisheries for Scotland, H.M.S.O. 31 pp.
- Mittelstaedt, E., Lange, W., Brockmann, C. & Soetje, K. C. (1983): *Die Strömungen in der Deutschen Bucht*. Deutsches Hydrographisches Institut, Hamburg. 142 pp.
- Müller, H. (1983): *Fische Europas*. Enke Verlag, Stuttgart. 320 pp.
- Muir, J. (1996): Evaluating and Minimizing the Short and Long Term Environmental Impact of Intensive Fish Farming. In: Tacon, A. G. J. (Ed.): *European Aquaculture Trends and Outlook*. FAO/GLOBEFISH Research Program Vol. 46, Rome, FAO. 198-205.

- Muir, J. & Vlaminck, B. (2001): Comparative economics of offshore and mariculture facilities. Advanced Course on Mediterranean Off-Shore Mariculture, Centro Internacional de Altos Estudios Agronomico Mediterraneo (CIHAEM); Institutio Agronomico Mediterraneo de Zaragoza (IAMZ), Food and Agriculture Organisation (FAO), Zaragoza. 19 pp.
- MURSYS (2000): Meeresumwelt-Reportssystem, Informationen aus Nord- und Ostsee. *Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)*, Hamburg.
- Nakajima, K. (1998): Viral Diseases in Marine Aquaculture. In: Howell, W. H., Keller, B. J., Park, P. K., McVey, J. P., Takayanagi, K. & Uekita, Y. (Eds.): *Nutrition and Technical Development of Aquaculture, Proceedings of the Twenty-Sixth U.S.-Japan Aquaculture Symposium, Durham/New Hamshire/USA September 16-18, 1997*. UJNR Technical Report No. 26, Durham, University of New Hamshire Sea Grant Program. 139-143.
- Neushul, M. (1991): Algae refossilization of atmospheric carbon dioxide. EPRI Report, EAK7-401, *Electric Power Research Institute*, Palo Alto.
- New, M. B. (1997): Aquaculture and the Capture Fisheries - Balancing the Scales. *World Aquaculture* 28(2). 11-13.
- NHW (2000): Nationalparkverwaltung Hamburgisches Wattenmeer, Informationszentrum für Umwelt und Entsorgung, Hermannstraße 14, 20095 Hamburg. <http://www.hamburg.de/Behoerden/Umweltbehoerde/wattenmeer/index.htm>
- NNW (2000): Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer, Virchowstr. 1, 26382 Wilhelmshaven. <http://www.mu.niedersachsen.de/Nationalparke/index.htm>
- NORFAB (1999): Norfab Products Ltd., Unit 17, Ben Nevis Industrial Estate Fort William PH33 6RU, <http://www.norfab.co.uk>
- NRC (1999): Sustaining marine fisheries. National Research Council. National Academy Press, Washington D.C.

- NSW (2000): Landesamt für den Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer, Schloßgarten 1, 25832 Tönning. <http://www.nationalpark-sh-wattenmeer.de/main.htm>
- Ohno, M. (1993): Cultivation methods and physiological aspect for endible seaweeds in Japan. *Serie Ocasional* 2. 163-170.
- Olesiuk, P. F., Nichol, L. M., Sowden, P. J. & Ford, J. K. B. (2001): *Effects of Sounds Generated by an Acoustic Deterrent on the Abundance of Harbour Porpoise (Phocoena phocoena) in Retreat Passage, British Columbia*. Department of Fisheries and Oceans - Pacific Biological Station, Nanaimo.
- Osburn, H. R. & Culbertson, J. C. (1998): Mariculture Options with Texas Rigs to Reefs. In: Stickney, R. R. (Ed.): *Joining Forces With Industry - Open Ocean Aquaculture, Proceedings of the Third Annual International Conference, May 10-15, Corpus Christi, Texas*. TAMU-SG-99-103, Corpus Christi, Texas Sea Grant College Program. 47-51.
- OSS (2000): Open Sea Systems, P.O. Box 1352, Sonoma, California 95476, U.S.A. <http://www.seacage.com>
- OST (2001): Ocean Spar Technologies, L.L.C. 7906 N.E Day Road West Bainbridge Island, WA 98110 USA. <http://www.oceanspar.com>
- Ostrowski, A. C. (1998): Candidate Species of the Pacific: The Hawaiian Fisheries Development Project. In: Hesley, C. (Ed.): *Open Ocean Aquaculture: Chartering the Future of Ocean Farming. Proceedings of an International Conference, April 23-25, 1997, Maui, Hawaii*. UNIH-SeaGrant-CP-98-08, Maui, University of Hawaii Sea Grant College Program. 213-222.
- Ostrowski, A. C., Divakaran, S., Kim, B. G. & Duerr, E. O. (1996): Effect of fish meal quality on biological performance of juvenile dolphin, *Corphaena hippurus*. *Journal of Applied Aquaculture* 6(2). 39-56.
- Ott, J. (1996): *Meereskunde*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

- Paquotte, P. & Guillard, V. (1996): The seafood markets in the northern Mediterranean countries. In: Valls, M. & Eleftheriou, A. (Eds.): *Marketing of Aquaculture Products*. Vol. 17, Zaragoza, CIHEAM, SELAM. 33-44.
- Paul, W. (1999): Reducing the Risk of Open Ocean Aquaculture Facilities to Protected Species. In: NOAA (Ed.): *National Strategic Initiative Project Summaries 1999*. Aquaculture Information Center - DOC/NOAA. 1-11.
- Pedini, M. (1996): Aquaculture in the GFCM Countries - Its Evolution from 1984 to 1994. In: *FAO Aquaculture Newsletter*, Food and Agriculture Organisation (FAO), Rome. 14. 18-23.
- Pedini, M. & Shehadeh, Z. H. (1997): Global Outlook. In: *Review of the State of World Aquaculture*. FAO Fisheries Circular FIRI/C886 (Rev. 1), Rome, Italy, Food and Agriculture Organisation (FAO). 30-37.
- Pedol, M. (1996): Marketing tools and strategies. In: Valls, M. & Eleftheriou, A. (Eds.): *Marketing of Aquaculture Products*. Vol. 17, Zaragoza, CIHEAM, SELAM. 139-143.
- Phillips, M. J. (1998): Tropical mariculture and coastal environmental integrity. In: De Silva, S. S. (Ed.): *Tropical Mariculture*. San Diego London Boston New York Sydney Tokyo Toronto, Academic Press. 17-69.
- Pohl, P. (unpublished): Gewinnung von Adsorptionsmaterialien für Schwermetalle, *Universität Kiel, Pharmazeutisches Institut*.
- Polk, M. (1997): Open ocean aquaculture - Wave of the future. *Nor'Easter* Spring/Summer 8-11.
- Polk, M. (1999): Feeding the Multitudes Today Will Take More than Miracles. *Nor'Easter* 2. 1-6.
- Porello, S., Andaloro, F., Vivona, P. & Marino, G. (1993): Rearing Trial of *Seriola dumerili* in a Floating Cage. *Production, Environment and Quality - Gent. European Aquaculture Society* 18. 299-308.

- Pulfrich, A. (1995): Reproduction and recruitment in Schleswig-Holstein wadden sea edible mussel (*Mytilus edulis* L.) populations. *Institut für Meereskunde Kiel*, Kiel. 150 pp.
- Rana, K. J. (1997): Aquatic Environments and Use of Species Subgroups. In: *Review of the State of World Aquaculture*. FAO Fisheries Circular FIRI/C886 (Rev. 1), Rome, Italy, Food and Agriculture Organisation (FAO). 7-16.
- Rathbun, R. (1986): Notes on Lobster Culture. *Bull. of U.S. Fish Comm.* 6. 17-32.
- Referat Öffentlichkeitsarbeit (2001): *Windenergienutzung auf See - Positionspapier des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit zur Windenergienutzung im Offshore-Bereich*. Berlin, Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. 43 pp.
- Ritchard, R. L. (1992): Marine algae as a CO₂ sink. *Water, Air and Soil Pollution* 64. 289-303.
- Roberts, D. (1975): The effect of pesticides in byssus formation in the common mussel, *Mytilus edulis*. *Environment and Pollution* 8. 241-254.
- Rodhouse, P. G., Rogen, C. M., Burnell, G. M., Hensey, M. P., McMahon, T., Ottway, B. & Ryan, T. H. (1984): Food resource, gametogenesis and growth of *Mytilus edulis* on the shore and in suspended culture: Killary Harbour, Ireland. *J.Mar.Biol.Ass.U.K.* 64. 513-529.
- Rönnbäck, P. (2001): Shrimp aquaculture – State of the art. Swedish EIA Centre, Report 1. Swedish University of Agriculture Sciences (SLU), Uppsala. 50 p.
- Rosenthal, H. (1997): Environmental Issues and the Interaction of Aquaculture with Other Competing Resource Users. In: Burt, M. D. B. & Waddy, S. L. (Eds.): *Coldwater Aquaculture to the Year 2000*. Aquaculture Association of Canada Special Publication No.2, St. Andreas, Canada. 1-13 pp.

- Rosenthal, H. & Hilge, V. (2000): Aquaculture Production and Environmental Regulations in Germany. *Journal of Applied Ichthyology* 16. 163-166.
- Ruth, M. (1991): Miesmuschelfischerei im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer. Ein Beispiel für die Problematik einer Fischerei im Nationalpark. In: Dethlefsen, V. (Ed.): *SDN-Kolloquium, Probleme der Muschelfischerei im Wattenmeer*. Wilhelmshaven, Schriftenreihe der Schutzgemeinschaft Deutsche Nordseeküste e. V. 26-46.
- Ruth, M. (1997): Zukunft der Muschelfischerei im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer: Ausgleich zwischen Ökologie und Ökonomie? In: Dethlefsen, V. (Ed.): *SDN-Kolloquium, Zukunft der Muschelfischerei im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer*. Varel, Schriftenreihe der Schutzgemeinschaft Deutsche Nordseeküste e. V. 9-17.
- Sandifer, P. A. (1994): U. S. Coastal Aquaculture: Flirting with Opportunity. *Water Farming Journal* 8(4). 3-16.
- Sannasiraj, S.A., Sundar, V. & Sundaravadivelu, R. (1998): Mooring Forces and Motion Responses of Pontoon-type Floating Breakwaters. *Ocean Engineering* 25(1). 27-48.
- Savage, G. H., Howell, W. H., Bamaby, R. & Celikkol, B. (1998): Demonstration of Open Ocean Aquaculture of Ground Fish. In: Helsley, C. (Ed.): *Open Ocean Aquaculture: Chartering the Future of Ocean Farming. Proceedings of an International Conference, April 23-25, 1997, Maui, Hawaii*. UNIH-Sea Grant-CP-98-08, Maui, University of Hawaii Sea Grant College Program. 175-200.
- Schmid, R. (1992): Regulating Waste from Aquaculture Production: Federal Republic of Germany. Workshop on Fish Farm Effluents and their Control in EC Countries, Congress Center Hamburg, Nov. 23-25, 1992 - Report. *Department of Fishery, IFM Kiel, Kiel*. 79 pp.

- Schubring, R. (1998): Fisch als Lebensmittel - Methode zur Bestimmung des Sandgehalts in Muschelerzeugnissen. In: *Information für die Fischwirtschaft aus der Fischereiforschung*, Bundesforschungsanstalt für Fischerei, Hamburg. 45(3). 113-115.
- Schubring, R., Herbst-Epping, E., Glück, B., Walter, L., Wagler, M. & Warning, W. (1998): Sandgehalte in Muschelerzeugnissen - chemische und sensorische Bewertung von Handelserzeugnissen. *Arch.Lebensmittelhyg.* 49. 64-66.
- Sea Grant (2001): Sea Grant Gulf of Mexico Offshore Aquaculture Consortium Mississippi-Alabama Sea Grant Consortium, P.O. Box 7000, Ocean Springs, MS 39566-7000. <http://www-org.usm.edu/%7Eooa/index.htm>
- Seed, R. & Suchanek, T. H. (1992): Population and community ecology of *Mytilus*. In: Gosling, E. (Ed.): *The Mussel Mytilus: Ecology, Physiology, Genetics and Culture*. Amsterdam, London, New York, Tokyo, Elsevier. 87-169.
- Smith, P. M. (1998): Northern Gulf of Mexico Mariculture Project. In: Stickney, R. R. (Ed.): *Joining Forces With Industry - Open Ocean Aquaculture, Proceedings of the Third Annual International Conference, May 10-15, Corpus Christi, Texas*. TAMU-SG-99-103, Corpus Christi, Texas Sea Grant College Program. 44-45.
- Spatz, M. J., Anderson, J. L. & Jancart, S. (1996): Northeast Region Aquaculture Industry Situation and Outlook Report, 1994-1995. 3352, *Rhode Island Experiment Station Publication*.
- Spencer, D. F. (1991): Open ocean macroalgal farms for CO₂ mitigation and energy production. Proceedings of IEA Conference on Technology and Responses to Global Environmental Challengers, 6-8 November, 1991.
- Stickney, R. R. (1998): *Joining Forces With Industry - Open Ocean Aquaculture, Proceedings of the Third Annual International Conference, May 10-15,*

- Corpus Christi, Texas*. TAMU-SG-99-103, Texas Sea Grant College Program, Corpus Christi. 152 pp.
- Sunde, L. M. (2000): New type of shell cultivation unit. *SINTEF Fisheries and Aquaculture*, Trondheim. 1 pp.
- Svelav, T. L. (1988): Inshore Versus Offshore Farming. *Aquacultural Engineering* 7. 287-297.
- Swann, L. (1992): A Basic Overview of Aquaculture. *Technical Bulletin Series*. 102. 1-10.
- Swedmark, M., Braaten, B., Emanuelsson, E. & Granmo, A. (1971): Biological effects of surface active agents on marine animals. *Marine Biology* 9. 183-201.
- Swift, M. R., Palczynski, M., Kestler, K., Michelin, D., Celikkol, B. & Gosz, M. (1998): Fish Cage Physical Modeling for Software Development and Design Applications. In: Howell, W. H., Keller, B. J., Park, P. K., McVey, J. P., Takayanagi, K. & Uekita, Y. (Eds.): *Nutrition and Technical Development of Aquaculture, Proceedings of the Twenty-Sixth U.S.-Japan Aquaculture Symposium, Durham/New Hampshire/USA September 16-18, 1997*. UJNR Technical Report No. 26, Durham, University of New Hampshire Sea Grant Program. 199-206.
- Szczerbowski, J. (1996): European Aquaculture Production Trends and Outlook. In: Tacon, A. G. J. (Ed.): *European Aquaculture Trends and Outlook*. FAO/GLOBEFISH Research Program Vol. 46, Rome, FAO. 157-168.
- Tacon, A. G. J. (1997): Production and Production Trends. In: FAO Fisheries Department (Ed.): *Review of the State of World Aquaculture*. FAO Fisheries Circular No. 886 FIRI/C886 (Rev.1), Rome, FAO.
- Tacon, A. G. J. (1998): Global Trends in Aquaculture and Aquafeed Production 1984-1995. *International Aquafeed Directory*. 5-37.

- Takagi, N. (1998): Creation of Offshore Aquaculture Ground by Floating Breakwater. In: Howell, W. H., Keller, B. J., Park, P. K., McVey, J. P., Takayanagi, K. & Uekita, Y. (Eds.): *Nutrition and Technical Development of Aquaculture, Proceedings of the Twenty-Sixth U.S.-Japan Aquaculture Symposium, Durham/New Hampshire/USA September 16-18, 1997*. UJNR Technical Report No. 26, Durham, University of New Hampshire Sea Grant Program. 207-214.
- ter Jung, C. (1992): Beitrag zum Schwermetallgehalts-Monitoring (Zn, Cd, Hg, Cn, Ag, Pb, Cr, Ni) in Miesmuscheln an der Schleswig-Holsteinischen Ostseeküste (1988/89). *Institut für Meereskunde, Kiel*. 146 pp.
- Thomson, N. (1996): Trends in Australasian Open Water Shellfish Culture. In: Polk, M. (Ed.): *Open Ocean Aquaculture: Proceedings of an International Conference, May 8.-10., 1996, Portland, Maine*. UNHMP-CP-SG-96-9, Portland, New Hampshire/Maine Sea Grant College Program. 223-234.
- Thomson, N. (1998): Offshore Aquaculture Development in Australasia, Four Issues to Overcome. In: Stickney, R. R. (Ed.): *Joining Forces With Industry - Open Ocean Aquaculture, Proceedings of the Third Annual International Conference, May 10-15, Corpus Christi, Texas*. TAMU-SG-99-103, Corpus Christi, Texas Sea Grant College Program. 62-
- Tournay, B. (1997): France protects and improves its Oyster stocks. *Aquaculture Magazine* 23(6). 81-85.
- Trident Sea Cage (1994): Technical Data. *Coastal Services Inc.* Burlington
- Tsukrov, I., Ozbay, M., Fredriksson, D. W., Muller, E., Swift, R. & Celikkol, B. (1999): Offshore Grid Mooring/Net Pen System: Design and Physical Model Testing. In: *Proceedings of the 18th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*.

- Tsukrov, I. I., Ozbay, M., Frederiksson, D. W., Swift, M. R., Baldwin, K. C. & Celikkol, B. (2000): Open Ocean Aquaculture Engineering: Numerical Modeling. *Marine Technology Society Journal* 34(1). 29-40.
- UBC (2001): University of British Columbia, 2329 West Mall, Vancouver, B.C. Canada V6T 1Z4. <http://www.botany.ubc.ca/biol320/algae/species/b07.html>
- van der Meer, J. P. & Todd, E. R. (1980): The life history of *Palmaria palmata* in culture. A new type for the Rhodophyta. *Canadian Journal of Botany* 58. 1250-1256.
- Vlaminck, B. (2001): Feeding systems for offshore mariculture. Advanced Course on Mediterranean Off-Shore Mariculture, Centro Internacional de Altos Estudios Agronomico Mediterraneo (CIHAEM); Instituto Agronomico Mediterraneo de Zaragoza (IAMZ), Food and Agriculture Organisation (FAO), Zaragoza. 18 pp.
- Voberg, R. & Breckling, P. (1997): *Atlas der Fische im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer*. Schriftenreihe Nr. 10 des Landesamtes für den Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer, Boyens GmbH und Co. KG, Heide. 178 pp.
- Waaland, J. R. (1983): Cloning marine algae for mariculture. *Journal of the World Mariculture Society* 14. 404-414.
- Wackernagel, M. & Silverstein, J. (2000): Big things first: focusing on the scale imperative with the ecological footprint. *Ecological Economics* 32. 391-394.
- Wagner, P. (1997): Zukünftige Nutzung der Muschelressourcen aus der Sicht der Erzeugergemeinschaft für Muschelzüchter e.V. In: Dethlefsen, V. (Ed.): *SDN-Kolloquium, Zukunft der Muschelfischerei im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer*. Varel, Schriftenreihe der Schutzgemeinschaft Deutsche Nordseeküste e. V.
- Walter, U. & Liebezeit, G. (in Vorbereitung): Nachhaltige Miesmuschel-Anzucht im niedersächsischen Wattenmeer durch die Besiedlung natürlicher und

- künstlicher Substrate. Abschlußbericht eines durch die Deutsche Bundesumweltstiftung gefördertes Forschungsprojektes. Forschungszentrum Terramare Wilhelmshaven. 98 p.
- Wang, H. & Tørum, A. (1994): A numerical model on beach response behind coastal kelp fields. 605523, STF 60 A94092, *SINTEF Norwegian Hydrotechnical Laboratory*, Trondheim. 42 pp.
- Webb, J. H., Hay, D. W., Cunningham, P. D. & Youngson, A. F. (1991): The Spawning Behavior of Escaped Farmed and Wild Adult Aquaculture Salmon, *Salmo salar*, in a Northern Scottish River. *Aquaculture* 98. 97-110.
- Webster, W. C. (1995): Mooring-induced Damping. *Ocean Engineering* 22(6). 571-591.
- Wehrmann, A., Herlyn, M., Bungenstock, F., Hertweck, G. & Millat, G. (2000): The distribution gap is closed - First record of naturally settled Pacific Oysters *Crassostrea gigas* in the East Frisian Wadden Sea, North Sea. *Senckenbergiana maritima* 30(3/6). 153-160.
- Wichers, J. E. W. (1982): On the Low Frequency Surge Motions of Vessels Moored in High Seas. *OTC Paper* Houston. 711-733.
- Willinsky, M. & Huguenin, J. E. (1996): Conceptual, Engineering and Operational Frameworks for Submersible Cage Systems. In: Polk, M. (Ed.): *Open Ocean Aquaculture: Proceedings of an International Conference, May 8.-10., 1996, Portland, Maine*. UNHMP-CP-SG-96-9, Portland, New Hampshire/Maine Sea Grant College Program. 41-92.
- Willinsky, M. D. (1993): Survival of Aquaculture Cages in Offshore Environments. In: *Proceedings of the Conference on Environmental Management of Enclosed Coastal Seas*. Baltimore. 7 pp.
- Willinsky, M. D., Robson, D. R., Vangood, D. J., Fournier, R. A. & Allen, J. H. (1991): Design of a Spherical Submersible Self-Cleaning Aquaculture System for Exposed Sites. In: Hirata, G. (Ed.): *Proceedings of the National Science*

Foundation Workshop on Engineering Research Needs for Offshore Mariculture Systems. Honolulu. 317-336.

Wilson, C. A. & Stanley, D. R. (1998): Constraints of Operating on Petroleum Platforms as it Relates to Mariculture: Lessons from Research. In: Stickney, R. R. (Ed.): *Joining Forces With Industry - Open Ocean Aquaculture, Proceedings of the Third Annual International Conference, May 10-15, Corpus Christi, Texas*. TAMU-SG-99-103, Corpus Christi, Texas Sea Grant College Program. 60 pp.

Windsor, M. L. & Hutchinson, P. (1995): Minimising the Impacts of Salmon Aquaculture on the Wild Salmon Stocks. In: Reinertson, H. & Haaland, H. (Eds.): *Sustainable Fish Farming. Proceedings of the 1st International Symposium of Sustainable Fish Farming. Oslo, Norway, August 28-31*. Rotterdam, A. A. Balkama. 149-163.

Witman, J. D. & Suchanek, T. H. (1984): Mussel in flow: drag and dislodgement by epizoans. *Marine Ecology Progress Series* 16. 259-268.

Wong, P. S. (1995): The Production Economics and Marketing Aspects of Marine Finfish Culture in Asia. In: Main, K. L. & Rosenfeld, C. (Eds.): *Culture of High-Value Marine Fishes in Asia and the United States*. Makapuu Point, Oceanic Institute. 259-268.

Yonge, C. M. (1949): *The Seashore*. Collins Clear-Type Press, London. 311 pp.

Young, G. A. (1985): Byssus-thread formation by the mussel *Mytilus edulis*: effects of environmental factors. *Marine Ecology Progress Series* 24. 261-271.

Young, J. A. (1996): The consumption of aquaculture products in non-Mediterranean Europe. In: Valls, M. & Eleftheriou, A. (Eds.): *Marketing of Aquaculture Products*. Volume 17, Zaragoza, CIHEAM, SELAM. 55-65.

Young, J. A. & Muir, J. (1994): UK fish processing industry strategies: from the CFP decade to the single market. In: Antona, M., Catanzano, J. & Sutinen, J.

G. (Eds.): *Proceedings of the Sixth International Conference of the International Institute of Fisheries Economics and Trade*. Paris, IFREMER.

Zaharia, T. (2001): State of the art of offshore mariculture in Romania. Advanced Course on Mediterranean Off-Shore Mariculture, Centro Internacional de Altos Estudios Agronomico Mediterraneo (CIHAEM); Instituto Agronomico Mediterraneo de Zaragoza (IAMZ), Food and Agriculture Organisation (FAO), Zaragoza. 3 pp.

Zanou, B. (1994): *Les aquacultures et leur développement en Grèce*. Mémoire de DEA Universités de Paris VII et Paris VIII, Paris. 97 pp.