

Dirk SCHORIES, Uwe SELIG und Christof SCHYGULA

Nutzung mariner Organismen zur Senkung der Nährstoff-Belastung in den Küstengewässer an der Deutschen Ostseeküste – Potentiale und Grenzen

Potential and limitation in the utilisation of marine organisms as biofilters in coastal waters of the Baltic Sea

Abstract

Recent reductions of nutrient inputs to the Baltic Sea are not sufficient to reach a good ecological state by the year 2015 as demanded by the EU water framework directive (WFD). We summarize the possibilities and experiences of internal actions that can be undertaken for the restoration of coastal waters by the use of marine organisms as nutrient accumulators and biofilters. We identified a total of eleven species of commercial interest which might be used as well as a nutrient sink. Among the macroalgae these are the green alga *Ulva* spp., the brown algae *Fucus vesiculosus* and *Laminaria* spp. as well as the red algae *Chondrus crispus*, *Delesseria sanguinea*, *Furcellaria lumbricalis* and *Palmaria palmata*. Among the phanerogams the eelgrass *Zostera marina* is a potential candidate. However bivalves like *Mytilus edulis*, *Dreissena polymorpha* and *Crassostrea gigas* seem to be more powerful due to their filtering efficiency. However most species occur in the Baltic Sea in low densities and cost efficient mass cultivation methods are not established for them. *Zostera marina* decreased significantly in the Baltic Sea but is still abundant in German coastal waters. Nevertheless, considering natural resources and ecological function of seagrass beds and the recent art of state for outdoor cultivation and planting, *Zostera* fails the requirements for its application for nutrient depletion. We conclude that only the blue mussel *Mytilus edulis* can be considered to have the potential to drop nutrient levels after massive establishment in the mesohaline German coastal Baltic Sea waters. In oligohaline coastal waters the alien zebra mussel *Dreissena polymorpha* may replace *Mytilus*. However, from a commercial point of view cultivation of *Mytilus* seem to be uneconomic due their small size in brackish waters, whereas *Dreissena* has no economic application. We resume that some commercial species of commercial interest are present in the Baltic Sea but probably not for mass production. Public funds for the restoration of coastal waters can not be replaced or supported by private enterprise.

Keywords: Restoration, *Mytilus edulis*, *Dreissena polymorpha*, *Zostera marina*, WFD

1 Einleitung

Küstengewässer sind besonders stark den Auswirkungen anthropogener Nutzungen ausgesetzt, da sich über die Zuflüsse meist ein großes Einzugsgebiet (EZG) in diese Gewässer entwässert. Mit dem HELCOM Abkommen (HELCOM 1988) wurde durch internationale Vereinbarungen die Reduzierung der externen Nährstoffeinträge für die Ostsee beschlossen. So konnten die Nährstoffeinträge in die Küstengewässer (und damit auch in die Ostsee) zwischen 1983/87 und 1993/97 um 61 % für Phosphor und 23 % für Stickstoff gesenkt werden (Behrendt *et al.* 1999). Dies basierte im Wesentlichen auf dem Ausbau kommunaler Kläranlagen. Seit ungefähr fünf Jahren gibt es verstärkt Bemühungen, die Küstengebiete nachhaltig zu managen und die Gesamtheit der vielen Systeme, die einen starken Einfluss auf die Dynamik der Küstengebiete haben, gleichberechtigt zu betrachten (Strategiepapier der EU zum Integrierten Küstenzonenmanagement - IKZM 1999 sowie Schernweski & von Bodungen 2000). Diese Bemühungen werden durch die Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 (EU-Wasserrahmenrichtlinie – EU-WRRL) getragen, in welcher das Erreichen des guten ökologischen Zustandes aller Gewässer bis zum Jahr 2015 gefordert wird.

Trotz dieser Maßnahmen und der erzielten Reduzierung der Nährstoffeinträge ist die Nährstoffbelastung für die Küstengewässer der Deutschen Ostseeküste weiterhin hoch. Behrendt *et al.* (1999) bilanzieren die Nährstoffeinträge aus den einzelnen Flussgebieten für die deutsche Ostseeküste mit einem Nährstoffeintrag von $16.270 \text{ t N a}^{-1}$ und 500 t P a^{-1} . Die gegenwärtigen Nährstoffbelastungen liegen damit ca. dreimal höher für Stickstoff und fünfmal höher für Phosphor als 1940. Vor diesem Hintergrund verwundert es nicht, dass derzeit nach einer Bestandsaufnahme von 2004 ca. 80 % aller Küstengewässer nicht den guten ökologischen Zustand erreichen. Eine weitere Senkung der Nährstoffeinträge durch externe Maßnahmen ist schwierig, da der Hauptteil der Einträge aus diffusen Quellen (landwirtschaftliche Nutzung) stammt, insbesondere die hohen Stickstoffeinträge. Aus diesem Grund ist es notwendig auch über mögliche interne Maßnahmen zur Nährstoffsenkung nachzudenken.

Interne Maßnahmen zur Sanierung von Gewässern sind vor allem aus dem limnischen Bereich bekannt (Jäger & Koschel 1995, Hupfer & Scharf 2002, Thiele & Mehl 1995). Eine Übertragbarkeit auf Küstengewässer ist aufgrund der größeren Wasserkörper als auch dem Wasseraustausch mit der Ostsee kaum möglich (Selig 2005). Bisherige Ansätze in den inneren Küstengewässern befassten sich bisher dann auch nur mit Maßnahmen zur Senkung der externen Nährstoffeinträge und der Sedimentstabilisierung (Kleeberg 2005, Feibicke 2005). Eine Nutzung von Makrophyten oder Invertebraten in den Deutschen Küstengewässern der Ostsee zur Nährstoffentlastung der Gewässer wurde zwar vorgeschlagen, aber bisher nie ernsthaft geprüft. Dabei sollte mit Hilfe dieser Arten lokal oder auch regional eine Verbesserung der Wasserqualität erreicht werden, so dass diesen Organismen die Rolle einer Nährstoffsenke zukäme, die entweder im System verbleibt oder zu kommerziellen Zwecke entfernt und fortlaufend ausgetauscht wird. Dieser Fragestellung soll im Rahmen dieser Literaturstudie nachhaltig nachgegangen werden, insbesondere der Fragestellung welche Organismen für eine Nutzung in Frage kommen.

Marine Pflanzen und wirbellose Tiere werden schon seit Jahrhunderten in vielfältigster Art von der lokal ansässigen Küstenbevölkerung genutzt. Dennoch haben sie im Deutschen Ostseeraum nie eine kommerzielle Bedeutung gespielt. Dies liegt vor allem daran, dass kaum geeignete natürliche Substrate für ihre Ansiedlung vorhanden sind (Karez & Schories 2005) und der verminderte Salzgehalt das Größenwachstum zahlreicher Arten limitiert (Remane & Schlieper 1971).

Eine Sanierung von Küstengewässern durch Aquakultur-Maßnahmen erscheint auf den ersten Blick vor allem deswegen interessant, weil die Kosten für eine interne Nährstoff-Eliminierung durch gleichzeitige kommerzielle Nutzung der Zielarten drastisch reduziert werden könnten. Lindahl *et al.* (2005) haben ein entsprechendes Modell anhand von Muschel-Kulturen (*Mytilus edulis*) für den Gullmarnfjord, Schweden errechnet und kamen zu dem Ergebnis, dass der Netto-Transport von Stickstoff an der Fjord-Öffnung um 20 % reduziert wird, wenn anstatt der städtischen Kläranlage der Kommune Lysekil Miesmuschelkulturen zum Einsatz kämen. Dabei würden keine Mehrkosten entstehen. Studien aus den 1950er und 1980er Jahren über die wirtschaftliche Bedeutung von Brauntangen in der Kieler Bucht (Hoffmann 1952) und Miesmuscheln in der Mecklenburger Bucht (Böttcher 1990) zeigten allerdings, dass eine Kommerzialisierung natürlicher Bestände beim damaligen Forschungsstand wenig Erfolg versprechend waren. Unter dem Gesichtspunkt einer angestrebten Restaurierung von Küstengewässern muss aber die Wirtschaftlichkeit von Aquakulturanlagen neu geprüft werden, da die Entfernung von Nährstoffen aus den Küstengewässern und somit die Reduzierung des Nährstoffeintrages in die Ostsee durch die Entnahme von Organismen einen finanziellen Gegenwert darstellt. Durch die Vorgaben der EU-WRRL ist diese Nährstoffreduzierung zur Erreichung des guten ökologischen Zustandes erforderlich und muss somit auch ökonomisch realisiert werden. So werden durch Lindahl *et al.* (2005) die Kosten zur Eliminierung von 1 kg Stickstoff mit 9,70-14,40 US\$, für das häusliche Abwasser kalkuliert. Überträgt man diese Daten auf den derzeitigen jährlichen Eintrag von 16.270 t Stickstoff aus den Deutschen Küstengewässern in die Ostsee, so ergäben sich hierfür Beseitigungskosten von 163 Mio US\$. Bei dieser Betrachtung bleibt der geogene Hintergrundeintrag unberücksichtigt. Dieser lässt sich für die einzelnen Gewässer schwer bilanzieren, dürften aber nach Angaben von Krech (2003) unter 2000 t N a⁻¹ liegen.

Wirtschaftlich nutzbare Arten

In der Ostsee wird derzeit von keinem der Anrainer-Staaten kommerzielle Aquakultur an marinen Invertebraten oder Makrophytobenthos-Organismen in größerer Menge betrieben (Ernten > 10 t y⁻¹), obwohl mindestens elf in der Ostsee vorkommende Arten andernorts eine kommerzielle Anwendung finden (Tab. 1). Mengenmäßig sind für die Kultivierung weltweit vor allem *Crassostrea gigas* mit über 4376*10³ t y⁻¹, *Laminaria saccharina* mit 673 *10³ t y⁻¹ und *Mytilus edulis* (472 *10³ t y⁻¹) von Bedeutung. Im Folgenden werden die Nutzungsmöglichkeiten aller elf Arten vorgestellt und bewertet.

Tabelle 1 Weltweite wirtschaftliche Nutzung einiger der in der Ostsee vorkommenden Arten und deren Bestand in der Ostsee. Zusammengestellt nach <http://www.surialink.com> (Stand August 2005 und TNO 2003). ¹ Zucht fast ausschließlich in China, ² Ernte in Dänemark, ³ Quelle: FAO 2003, nur *Mytilus edulis* berücksichtigt.

Pflanzen	Nutzung (weltweit)	Wirtschafts-Zweige	Natürlicher Bestand und Gefährdung im Deutschen Ostseeraum	Natürliche Ernte / Zucht weltweit in Tonnen	Wirtschaftliche Nutzung (Ostsee) Natürlicher Bestand / Zucht
Makroalgen					
<i>Ulva</i> spp. Linnaeus, 1753	TN, ME, IA, MD	AI, ME, GH	regelmäßig vorhanden aber nicht in Massen	- / -	- / -
<i>Fucus vesiculosus</i> Linnaeus, 1753	TN, NI, DM, IA, LV	AI, BP, PE, GH	Regelmäßig vorhanden, starker Rückgang im Sublittoral	84 / -	- / -
<i>Laminaria saccharina</i> (Linnaeus) Lamouroux, 1813	TN, NI, DM, IA, LV	AI, BP, FM, ME, GH	Unregelmäßig vorhanden, bis 25m Wassertiefe	87.013 / 673.064 ¹	- / lokale Zucht
<i>Delesseria sanguinea</i> (Hudson) Lamouroux, 1813	KP, GH	GH	6-12 m Wassertiefe regelmäßig bis Darßer Schwelle	z. Z. unbekannt	- / experimentell
<i>Palmaria palmata</i> (Linnaeus) Kuntze, 1891	ME	ME	Selten, Einzelfunde in Flensburger Förde	- / -	- / -
<i>Chondrus crispus</i> Stackhouse, 1797	ME, NI, IA, LV, KP, GH	BP, FM, PE, ME, GH	Nur vereinzelt in der Kieler Bucht	12.413 / -	- / -
<i>Furcellaria lumbricalis</i> (Hudson) Lamouroux, 1813	ME	NI, IA, LV, KP, GH, BP	Um Rügen sehr häufig auf Hartsubstraten	1.200 / -	1.200 / -
Angiospermen					
Seegräser (u.a. <i>Zostera marina</i> Linnaeus, 1753)	IA, MD, KP, GH	U, ME, GH, BG	Regelmäßig entlang der ges. Küste vorhanden, Tiefenverbreitung zurückgegangen	- / 1.268.499	Nutzung des Strandanwurfs / -
Zoobenthos					
<i>Mytilus edulis</i> Linnaeus, 1758	TN, ME, IA	AI, U, ME	Regelmäßig bis 5 PSU vorhanden	107.492 / 472.210 ³	- / -
<i>Dreissena polymorpha</i> Pallas, 1771	IA	U	Neozoe, unterhalb von 5 PSU stellenweise sehr häufig	- / -	- / -
<i>Crassostrea gigas</i> Thunberg, 1793	ME	ME	Zuchtanlagen als Nebenerwerbsfischerei in den 80er Jahren	- / -	- / lokale Zucht

Legende für Tabelle 1:

Nutzung: Tiernahrung (TN), menschliche Ernährung (ME), Nahrungsinhaltsstoffe (NI), Düngemittel (DM), Industrielle Anwendung (IA), Medizin (MD), Lebensmittelverarbeitung (LV), Körperpflege (KP), Gesundheit (GH).

Wirtschaftszweige: Agro-Industrie (AI), Biopolymere (BP), Umwelt (U), Pharmazeutische Industrie / Ernährung (PE), menschliche Ernährung (ME), Kosmetische & Gesundheitsindustrie (GH), Baugewerbe (BG).

Phytobenthos

Ulva spp.

Der Meeresalat *Ulva* spp. ist eine ein- bis mehrjährige Pflanze, die im Frühjahr vor allem für den menschlichen Verzehr gesammelt wird oder im Verlauf der Vegetationsperiode als Dünger in der Landwirtschaft genutzt wird (Msuya & Neori 2002). Vereinzelt wird in Frankreich aber auch in Deutschland aus *Ulva* spp. edles Schreibpapier hergestellt. In der Vergangenheit ist wiederholt versucht worden sowohl *Ulva* als auch die Rotalge *Gracilaria* spp. als Biofilter in Fischzuchtanlagen einzusetzen.

Im Deutschen Küstenraum findet die Alge im Gegensatz zu einigen asiatischen Staaten keine wirtschaftliche Anwendung (Sohn & Kain 1989, Ohno 1993), sondern wird eher als nährstoffbedingte Belastung für das Ökosystem angesehen. Im Gegensatz zu dem massiven Auftreten von *Ulva*¹ spp. im Ost- und Nordfriesischen Wattenmeer (Reise & Siebert 1994, Schories 1995) sind an der Deutschen Ostseeküste rezent keine exzessiven sowie regelmäßigen *Ulva*-Entwicklungen bekannt. Im Außenbereich der Deutschen Ostseeküste sind es vor allem die Rotalgen *Ceramium* spp. und die Braunalge *Pilayella littoralis*, die zur Massenentwicklung neigen. Aus Olkiluodonvesi an der finnischen Westküste, sind hingegen *Ulva*-Matten von bis zu 3,7 km² Ausdehnung bei einer Biomasse von 26 g FG m⁻² bekannt (Bäck *et al.* 2000). In zahlreichen flachen Buchten im Kattegatt ist ebenfalls eine Zunahme von *Ulva* spp. gefunden worden (Pihl *et al.* 1993).

Laminaria spp.

Die in der Ostsee vorkommenden *Laminaria*-Arten sind mehrjährig und werden weltweit sowohl durch das kontrollierte Abernten von Wildbeständen als auch in Aquakultur-Betrieben wirtschaftlich genutzt. Historisch wurde vor allem Jod und Pottasche aus Laminarien gewonnen. Gegenwärtig finden sie sowohl in der Lebensmittel- als auch der Pharmaindustrie Verwendung. So wird das Salz der enthaltenen Alginsäure, das Alginat, in verschiedenen Produktionszweigen verwendet. Erntezeit ist zwischen Frühjahr (hoher Vitamin C Gehalt) und Sommer (hoher Zuckergehalt). In der Kieler Bucht betreibt die Firma O'Well als Weiterentwicklung eines vom Umweltministerium des Landes Schleswig-Holstein geförderten Projektes der Firma CRM (Coastal Research & Management) seit 2004 eine *Laminaria saccharina* Farm. Eine bedeutsame Nährstoffentlastung durch die Kultivierung von *Laminaria* ist für die Deutsche Ostsee jedoch nicht zu erwarten. Die

¹ Die Gattung *Enteromorpha* wird in diesem Text vollständig der Gattung *Ulva* zugeordnet (siehe HAYDEN *et al.* 2004).

in der Aquakultur gegenwärtig gezüchteten Mengen (1ha Versuchsfläche mit 1-2 t Ertrag pro Jahr) sind viel zu gering, um für eine Gewässerentlastung in Betracht zu kommen.

Die Verteilung der mehrjährigen *Laminaria*-Bestände in der Kieler Bucht wurde erstmals von Hoffmann (1952) genauer untersucht, dabei zeigte sich, dass eine Kommerzialisierung der natürlichen Bestände mangels Biomasse nicht Erfolg versprechend ist. Auch rezent stehen die Bestände weit verstreut und locker. Als Verbreitungsobergrenze gibt Hoffmann (1952) 6 m Wassertiefe an, in eigenen Untersuchungen wurde *Laminaria saccharina* aber in einem Tiefenbereich zwischen 3 m und 25 m gefunden. Die ohnehin spärliche Verbreitung von Laminarien im Deutschen Ostseeraum ist in den vergangenen Jahrzehnten weiter stark zurückgegangen (Breuer & Schwenke 1988, Breuer 1989, Vogt & Schramm 1991, Schramm 1996). Die untere Verbreitungsgrenze hat sich seit Mitte der 1960er Jahre und Mitte der 1980er Jahre in der Kieler Bucht von maximal 20 m auf 18 m, das Biomassemaximum von 14-16 m auf 8 m Wassertiefe verschoben (Schramm 1996).

Fucus vesiculosus

Fucus vesiculosus ist die einzige dominante mehrjährige Großalge in der Ostsee, die selbst die geringen Salinitäten der nördlichen Ostsee erträgt (Wallentinus 1991, Kautsky *et al.* 1992). Sie findet ihre wirtschaftliche Anwendung vor allem in der Düngemittel-Industrie, als Quelle von Mikro-Nährstoffen für den Futterzusatz bei der Tierhaltung sowie zur Gewinnung von Alginaten für die Pharmaindustrie. Lokal wird sie als Verpackungsmaterial für die Hummerzucht und den Transport von Pierwürmern benutzt. Ein Abernten der Wildbestände in der Ostsee scheint weder wirtschaftlich rentabel noch ökologisch vertretbar zu sein, da die Bestände von *Fucus* spp. in den letzten Jahrzehnten dramatisch zurückgegangen sind. *Fucus* spp. wird ausschließlich aus Wildbeständen gewonnen, eine kommerzielle Aquakultur existiert nicht. Eine Abnahme von *Fucus* spp. entlang der Kieler Bucht von ehemals 45.000 t auf 2.400 t wurde von Vogt & Schramm (1991) anhand von Vergleichsuntersuchungen mit früheren Untersuchungen aus den 1950er, 1960er und 1970er Jahren beschrieben (Hoffmann 1952, Schwenke 1969). Eine im Auftrag des Landesamtes für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein (LANU) durchgeführte Kartierung aus dem Jahr 2003 bestätigt den vollständigen Rückgang von *Fucus* in den Bereichen ab 3 m Wassertiefe (Fürhaupter *et al.* 2003). Lediglich in Einzelexemplaren wird *Fucus* rezent noch tiefer gefunden. In den 1950er Jahren ist *Fucus* zumindest in Teilbereichen der Kieler und Mecklenburger Bucht deutlich tiefer vorgekommen. Als ehemalige maximale Verbreitungstiefe hat Hoffmann (1952) 10 m angegeben.

Furcellaria lumbricalis

Die euryhaline Rotalge *Furcellaria lumbricalis* ist aufgrund ihres hohen Anteils an Hydrokolloiden die einzig wirtschaftlich bedeutende Makroalge in der Ostsee, die aus Wildbeständen geerntet wird. *Furcellaria* kommt sowohl im vollmarinen Bereich als auch noch in Gebieten mit einem Salzgehalt von 6-8 PSU vor (Bird *et al.* 1991). In Deutschland gibt es jedoch keine ausreichenden Mengen für die Ernte. Festgewachsene Bestände finden sich vor allem auf Geröllen um die Insel Rügen wo sie häufig gemeinsam mit *Mytilus edulis* vorkommen. Große Mengen an leicht zu

erntenden frei driftenden *Furcellaria lumbricalis* wie sie beispielsweise in Estland oft zu beobachten sind, sind in Deutschland nie vorgekommen, obwohl *Furcellaria* im Westlichen Bereich der Deutschen Ostsee früher häufiger gewesen ist. Besonders in Dänemark ist *Furcellaria* noch immer eine wirtschaftlich bedeutende Alge für die Phycocolloid-Industrie (Lund & Bjerre-Petersen 1952) und zur Gewinnung von „Dänisch-Agar“ (Furcellaran). Ferner enthält *Furcellaria lumbricalis* weitere wirtschaftlich interessante Inhaltstoffe wie Galactose, Glucose, Xylose (Black & Cornhill 1954), Glycoside (Lindberg 1954, 1955), D-Mannitol und Floridoside (Stoll & Jucker 1958) sowie antibiotische Substanzen. Neben dem dänischen Teil des Kattegatts (Austin 1960) kommen in der Puck Bay in Polen (Kruk-Dowgiallo & Ciszewskia 1994) noch große Mengen driftenden Materials vor. Die Ernte dieser treibenden Bestände ist jedoch nicht unproblematisch, da nach Christensen (1971, zitiert in Bird *et al.* 1991) ein Abernten solcher Bestände zu deren vollständigen Verlust führen kann. Von über 30.000 t zu Beginn der 1960er Jahre sank die Ernte aufgrund von Überfischung in Dänemark in den 1970er Jahren auf unter 10.000 t im Jahr. Ähnliche Verluste sind auch aus Polen bekannt. So dominierte bis in die späten 1960er Jahre *Fucus vesiculosus* und *Furcellaria lumbricalis* die Unterwasserlandschaft der Puck Bay (Golf von Danzig). Nach exzessiver Ernte verschwanden diese jedoch in den darauf folgenden Jahren nahezu vollständig (Andrulowicz *et al.* 2004). In der Kassari Bay (Estland) werden jedoch seit Anfang der 1960er Jahre Driftmatten von *Furcellaria* auf ihre ökonomische Bedeutung hin untersucht (Kireeva 1961, 1964) und seit 1966 regelmäßig abgeerntet, wobei der Anteil von *Furcellaria* an der Menge gedredgten Materials mindestens 75 % betragen muss. Insgesamt wird der Bestand der in Estland ökonomisch verwertbaren *Furcellaria* Bestände auf 5.000 - 30.000 T geschätzt, wo hingegen die Gesamt-Biomasse driftender Algen zwischen 60.000-200.000 t beträgt. Die Fangquoten für die dortigen Bestände variieren seit 1968 zwischen 800 – 1500 t FG. Sie werden jährlich nach aktuellen Monitoring-Ergebnissen angepasst.

Chondrus crispus

Die mehrjährige Rotalge *Chondrus crispus*, auch bekannt als Irish Moss wird in der Zeit zwischen Frühjahr und Sommer geerntet, wenn ihr Vitamin A Gehalt am höchsten ist. Sie wird manuell gepflückt oder nach kräftigen Stürmen direkt im Strandanwurf gesammelt. Ihre wirtschaftliche Bedeutung liegt vor in dem hohen Gehalt an Carrageenen, die sowohl in der Nahrungsmittel-, der pharmazeutischen und der Kosmetik-Industrie ihre Anwendung finden (Guiry & Blunden 1991). An der Deutschen Ostseeküste ist ihre Verbreitung auf den westlichen Teil begrenzt, wobei sie niemals in Massen auftritt. Ihr Vorkommen ist eng an das Vorhandensein von stabilen Hartsubstraten gebunden, die im westlichen Teil der Ostsee jedoch kaum vorkommen (Karez & Schories 2005). Die Verbreitungsgrenze von *Chondrus crispus* liegt ungefähr bei 16 PSU (Mathieson & Burns 1975). In Europa werden die Wildbestände von *Chondrus crispus* nur an der Atlantik-Küste Irlands, Spaniens, Frankreichs und Portugals gesammelt. Als nachhaltige Nutzung kann die Methoden von Irischen Sammlern angesehen werden, die nur den oberen thallosen Teil der Pflanzen sammeln, so dass sie sich anschließend wieder regenerieren können (Morrissey *et al.* 2001). Am Irischen Seaweed Centre, Galway, gibt es zurzeit Ansätze neue Methoden der kommerziellen Kultivierung von *Chondrus crispus* zu entwickeln.

Palmaria palmata

Die sowohl epilithisch als auch epiphytisch vorkommende Rotalge *Palmaria palmata* kommt aufgrund des verminderten Salzgehaltes nur ganz vereinzelt im westlichsten Teil der Deutschen Ostseeküste vor. Eine wirtschaftliche Nutzung ist somit für die meisten Gebiete der Deutschen Ostseeküste ausgeschlossen. In Nordamerika, Großbritannien, Irland und Island dagegen wird die Alge direkt für den menschlichen Verzehr geerntet, während sie in anderen Regionen zusätzlich als Tiernahrung benutzt wird (Guiry & Blunden 1991). In Deutschland wird die Art zurzeit an der Wattenmeerstation des Alfred-Wegener-Institutes auf Sylt als Indoor-Kultur gezüchtet.

Delesseria sanguinea

Die mehrjährige Blattbuschalge *Delesseria sanguinea* kann entlang der Deutschen Ostseeküste sowohl in der Kieler als auch der Mecklenburger Bucht bestandsbildend vorkommen. In der Mecklenburger Bucht ist *Delesseria* in der Tiefe von etwa 12 m ganzjährig die dominante Alge auf Hartsubstrat und kann eine durchschnittliche Biomasse von etwa 3 kg m⁻² FG entwickeln (pers. Beobachtung). Baltische Individuen wachsen am besten zwischen 19-23 PSU (Rietema 1993) sind aber auch im vollmarinen Bereich anzutreffen (Lehnberg 1978). Bei geringerer Salinität reagieren die Organismen mit einem deutlich verminderten Wachstum. Die wirtschaftliche Bedeutung bzw. das mögliche Potential von *Delesseria sanguinea* ist gegenwärtig schwer abzuschätzen. So wird die Alge zurzeit unter anderem von der französischen Firma GoËmar für kosmetische Anwendungen durch Taucher gesammelt. Da die Alge und ihre Derivate für die Industrie äußerst interessant sind, sie sich aber gegenwärtig in Laborkulturen schwer hält, ist *Delesseria sanguinea* mit 9,41 € je kg FG z. Z. die teuerste Alge Europas. *Delesseria* kann neue Blätter durch Aktivierung von Reservestoffen der Mittelrippe in totaler Dunkelheit hervorbringen (Lüning 1990), wobei wahrscheinlich während der Wintermonate eine Anreicherung an Nährstoffen stattfindet (Nabil & Cosson 1996). Eine Zunahme an *Delesseria* und anderer Rotalgen im Skagerrak, Schweden, wurde im Zusammenhang mit ansteigender Eutrophierung in den Küstengewässern gesehen (Johansson *et al.* 1998). In der Kieler Bucht war dieser Trend hingegen gegenläufig, so dass eine Abnahme von *Delesseria* bzw. die Verschiebung der Tiefenausbreitung zu beobachten war (Breuer & Schwenke 1988, Breuer 1989, Schramm 1996).

Für eine mögliche Kommerzialisierung von *Delesseria sanguinea* gibt es in der Deutschen Ostsee je nach Substratverfügbarkeit lokal dichte Bestände in einem Tiefenbereich von 6-12 m. Zurzeit wird an der Rostocker Universität an einer Labor- und Freiland-Zucht von *Delesseria sanguinea* gearbeitet. In Kooperation mit dem pharmazeutischen Institut der Universität Kiel werden aktuell Isolate von *Delesseria* auf ihre Wirksamkeit und den zukünftigen Einsatz in der Medizin bzw. Pharmakologie getestet.

Zostera marina

Das Seegras *Zostera marina* kommt entlang der gesamten Deutschen Ostseeküste mit Ausnahme der Insel Usedom vor. Aufgrund der Eutrophierung ist *Zostera* nicht nur in der Ostsee (Boström *et al.* 2003) sondern weltweit in ihrer

Tiefenverbreitung zurückgegangen (Dennison 1985, 1987, Dennison & Alberte 1985, Pedersen & Krause-Jensen 1996, Krause-Jensen *et al.* 2000, 2003). Während Reinke (1889) für die Kieler Bucht noch eine Vorkommenstiefe von 8-10 m angibt, ist *Zostera* gegenwärtig hier nur bis 6 m anzutreffen. Bereits in den 1930er Jahren verschwanden große Seegras-Bestände der Westlichen Ostsee durch das Auftreten der sogenannten Seegras-Krankheit, verursacht durch *Labyrinthula zosterae*. Verschont von dieser Seegras-Krankheit blieben allerdings die zunehmend brackigeren Bereiche der Ostsee (Rasmussen 1977).

Zostera wird seit Jahrhunderten von der Küstenbevölkerung im häuslichen Bereich als Dämmmaterial und für den Deichbau benutzt. Das heimische Naturprodukt Seegras wurde in den 20er Jahren bereits als Füllstoff für Matratzen genutzt. Bis in die 50er Jahre des vorigen Jahrhunderts wurden aus Seegras in einem volkseigenen Betrieb Wismars (VEB) die sogenannten "ZOSTA-Matten" als Isolier- und Dämm-Material (schwer entflammbar) für den Bau hergestellt. Heute werden getrocknete Blätter als Verpackungs- und Polstermaterial, für den Wege- und Deichbau, zum Decken von Häusern, zur Tierhygiene und als Dünger verwendet. In einem EU Interregio-Projekt mit der Gemeinde Klützer Winkel wurde inzwischen auch offiziell die technische Zulassung vom Deutschen Institut für Bautechnik für die Nutzung von losem Seegras als Dämmmaterial erreicht. In Dänemark wird die Nutzung von Seegras als Biofilter zur Entfernung von Schwermetallen untersucht. Zudem wird an Seegras-Plastikgemischen sowie an der Nutzung von Inhaltsstoffen für die kosmetische Industrie geforscht. In Zusammenhang mit letztgenanntem hat die Schweriner Firma AQUAZOSTA® GmbH die sogenannten Thalasso-/ Wellness-Anwendungen aus Seegras entwickelt.

Seegras wird nicht aus intakten Wiesen sondern vom Strandanwurf geerntet. Aufgrund des starken Rückgangs von *Zostera marina* im Tiefenbereich und der ökologischen Funktion von Seegraswiesen als Kinderstube für zahlreiche Fischarten ist kaum damit zu rechnen, dass eine Ernte submerser Wildbestände genehmigt werden würde, obwohl die Bestandsdichte von *Zostera* im flachen Bereich (1-3 m) lokal durchaus sehr hoch sein kann (Schories *et al.* 2005). Eine profitable Anzucht von *Zostera marina* im Freiland ist aufgrund der geringen Selbstausbreitung und des hohen Personalaufwandes zurzeit nicht wahrscheinlich. Die gängigste Methode zur Besiedlung einer Fläche mit Seegras ist das Ausbringen und Einpflanzen einzelner Individuen in das Sediment. Anpflanzungsversuche über Samen worden nur vereinzelt erfolgreich durchgeführt (Churchill 1983, Orth *et al.* 1994, Olesen & Sand-Jensen 1994a, b). In Europa sind Untersuchungen zur (Wieder-)Ansiedlung von Seegräsern vor allem im Gezeitenbereich durchgeführt worden (Jager *et al.* 2002, van Katwijk 2003) während im dauerhaft submersen Bereich vor allem Arbeiten in den USA erfolgten (Thom 1990, Fonseca 1994, Fonseca *et al.* 1998).

Weitere Algen in der Anwendung

Aus *Ceramium virgatum* sind verschiedene Pigmente (z. B. Phycoerythrin) isoliert worden (Coulson 1953), antimikrobielle Substanzen sowie einige Zucker (Galaktose, Glukose und Xylose) wurden ebenfalls isoliert (Black & Cornhill 1954, Smith & Montgomery 1959). In Japan wird *C. virgatum* mit anderen Algen gemischt und für die Herstellung von agaroiden Substanzen benutzt (Araki 1959, Smith & Montgomery 1959, Selby & Selby 1959). Ferner können die Pigmente aus *C.*

virgatum als Färbemittel für Textilien und Kosmetika verwendet werden (Stoloff 1962).

Polyides rotundus kann wie *Furcellaria lumbricalis* für die Herstellung von agaroiden Substanzen genutzt werden, liefert jedoch eine festere Gel-Substanz als *Furcellaria*. In Chile wird *Polyides* höchstwahrscheinlich wirtschaftlich genutzt, es existieren jedoch keine weiteren Angaben zur Nutzungsart (Levring *et al.* 1969).

Die wichtigsten Gattungen der Rotalgen, die als Rohmaterial für die Agar Gewinnung im Ostseeraum dienen sind: *Ahnfeltia plicata*, *Phyllophora pseudoceranoides* und *Coccotylus truncatus*. Sie werden in Rußland für die Herstellung von Agaroid (Phyllophoran) (Humm 1951, Selby & Selby 1959) aber auch in Dänemark (Dänisch Agar) wirtschaftlich genutzt.

Zoobenthos

Mytilus edulis

Die Miesmuschel *Mytilus edulis* ist mit einer jährlichen Produktion von 472.410 t a⁻¹ (Angabe: FAO, für das Jahr 2003) aus der Aquakultur (2003) eine der bedeutendsten Kulturmuscheln für den menschlichen Verzehr. Eine der wichtigsten Faktoren für die Muschelzucht ist dabei die Verfügbarkeit von juvenilen Muscheln als Saatgut. Diese können zwar relativ einfach aus fertilen Adulten im Labor herangezogen werden, vorwiegend wird jedoch auf Saatmaterial aus dem natürlichen Larvenfall zurückgegriffen, was zu erheblichen Schwankungen in der jährlichen Verfügbarkeit von Muscheln führen kann. Im deutschen Ostseeraum gab es bereits Anfang 1900 erste Ansätze die Miesmuschel-Zucht zu etablieren. Dröscher (1906) gelang es aufgrund mangelnden Interesses der örtlichen Fischer allerdings nicht eine *Mytilus*-Pfahlkultur in der Wohlenberger Wiek zu etablieren. In der Kieler Förde hingegen existierte zu Beginn des 20ten Jahrhunderts eine *Mytilus*-Pfahlkultur mit einer jährlichen Produktion von ungefähr 800 t, die aber 1921 aufgegeben wurde, als die Kieler Hafenwirtschaft ausgeweitet wurde. Versuche Langleinen-Aquakultur in der Ostsee zu etablieren wurden sowohl in der Flensburger Förde (Meixner 1989) als auch der Mecklenburger Bucht unternommen (Böttcher & Mohr 1992). Böttcher (1990) untersuchte dabei vor allem die Wachstumsraten von *Mytilus* in der Mecklenburger Bucht. Bis heute ist die Miesmuschelfischerei in der Ostsee jedoch wirtschaftlich bedeutungslos. Die Gründe hierfür liegen vor allem im verminderten Wachstum aufgrund des geringeren Salzgehaltes der Ostsee (Böttcher 1990). Almada-Villela (1984) zeigte eine stark eingeschränkte Größenwachstum von Tieren, die bei 16 PSU gehalten wurden im Vergleich zu Tieren, die bei 26-32 PSU gehalten wurden. Eine Reduzierung des Salzgehaltes auf 22 PSU hatte dagegen nur eine geringe Wachstumshemmung zur Folge. Die Verbreitungsgrenze deutlich größenreduzierter Miesmuscheln liegt in der inneren Ostsee bei 4-5 PSU (Kautsky 1982).

Die bisher in der Ostsee durchgeführten Fänge von wildlebenden Miesmuscheln blieben im Jahresdurchschnitt gering, und Experimente mit Boden- als auch Hängekulturen in der freien Wassersäule führten nicht zu dem gewünschten ökonomischen Erfolg, obwohl der Küstenbereich zwischen der Flensburger Förde bis etwa Fehmarn Potential für die Anlage von Miesmuschelkulturen nach dem Langleinenprinzip (Hängekulturen) hat. Allerdings ist die Einrichtung solcher Kulturen

edulis als Nährstoffsенke für die Küstengewässer übrig. Idealerweise würde man *Mytilus* vor allem in geschützten und flachen Buchten einsetzen, um einen möglichen Effekt überhaupt messen zu können.

Der Einsatz von Muscheln als natürliche Reinigungsstufe für belastete Küstengewässer wird seit Jahren kontrovers diskutiert (Allen & Hawkins 1993, WILKINSON *et al.* 1996). In wenig durchströmten Gebieten kann es zur organischen Anreicherung und verstärkter Sauerstoffzehrung kommen, so dass am Boden schwarze anoxische Sedimente mit einem Belag von chemoautotrophen Schwefelbakterien (*Beggiatoa*) entstehen (Dahlbäck & Gunnarsson 1981, Grant *et al.* 1995). Des Weiteren kommt es zur erhöhten Ammonium-Freisetzung aus dem Sediment (Kaspar *et al.* 1985, Grant *et al.* 1995). In einigen Gebieten konnten noch drei Jahre nach Stilllegung der Kulturanlagen Veränderungen der Umwelt zum vormaligen Zustand festgestellt werden (Stenton-Dozey *et al.* 1999). In den Niederlanden wird *Dreissena polymorpha* seit Anfang der 1990er Jahre in Wasser-Management Betrachtungen einbezogen (Reeders *et al.* 1989, Reeders & De Vaate 1990, Bak *et al.* 2004). Lindahl *et al.* (2005) modellierten den Einsatz von *Mytilus*-Aquakulturen als Alternative für eine neue Kläranlage des Ortes Lysekil, Gulmarnfjord, und beschreiben dies als ökonomisch und ökologisch sinnvolle Alternative. In Deutschland wurden wiederholt Ansätze diskutiert, *Mytilus*-Kulturen zur Reinigung von Gewässern einzusetzen. So entstand unter Beteiligung zahlreicher Naturwissenschaftler die Zingster Resolution vom 25. November 1990 zum Entwicklungsprojekt Ostsee-Sanierung. Eine Umsetzung dieser Vorhaben erfolgte aber nicht. Errichtet wurde auf privater Initiative allerdings ein kleines Riff am Neuenkirchengrund in der Flensburger Förde. Weitere davon unabhängige künstliche Riffe wurden von Greenpeace e.V. vor dem Sealife Center in Travemünde sowie unter Leitung des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Fischerei und der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei, Institut für Fischerei (LFA) bei Nienhagen in der Mecklenburger Bucht errichtet.

Die Errichtung künstlicher Riffe weicht jedoch erheblich von Aquakultur-Maßnahmen zur Verbesserung der Wasserqualität ab, da der Raum nicht optimal genutzt werden kann. Eine Muschelkultivierung am Boden erscheint nur dann sinnvoll, wenn genügend Saatgut auf natürlichen, dichten Muschelbeständen vorhanden ist, um dieses dann auf weit verstreuten Strecken auszubringen und durch diese Ausdünnung der Bestände ein schnelles Heranwachsen für die Bodenkultivierung zu begünstigen (Hickman 1992). Der Bodenkultur steht die Aquakultur an Langleinen oder Flößen gegenüber, bei denen die Kulturmuscheln vertikal ins Wasser gehängt werden und in wesentlich größerer Dichte pro m² Wasseroberfläche heranwachsen können (FRS 2000, Edwards 1997). Auch hier müssen zunächst Saatmuscheln eingesetzt werden, da die natürliche Rekrutierung zu variabel ist.

Zwei wesentliche Probleme erschweren die Kultivierung von *Mytilus* im Ostseeraum. Zum einen betrifft dies die Vermarktungsmöglichkeiten, zum anderen die möglichen Umweltauflagen. Noch immer gilt die Ostsee als eines der am stärksten schadstoff- und nährstoffbelasteten Meere weltweit. Aufgrund der möglichen Anreicherung von Schadstoffen in Muscheln, dem ohnehin schlechten Ruf der Ostsee und einer begrenzten Schalengröße lassen sich die Muscheln eventuell nur schlecht vermarkten. Mit der Etablierung von Natura 2000 Schutzgebieten (Ssymank *et al.*

1998) wird es zudem schwieriger werden geeignete Flächen für die Muschelkultivierung zu finden, obwohl die Kulturen zur Sanierung der Gewässer eingesetzt werden sollten.

Obwohl die Angaben von Filtrationsleistungen von Muscheln stark mit der benutzten Meßtechnik (Riisgård 2001) schwankt, steht außer Frage, dass Muscheln in der Lage sind, sehr effektiv den umgebenden Wasserkörper zu filtrieren. Nach Kiørboe & Møhlenberg (1981) sowie Riisgård & Møhlenberg (1979) kann *Mytilus* bei einem Körpergewicht von 10 g Trockengewicht ca. 34 bzw. 39 l Wasser pro Stunde filtrieren. So erstaunt nicht, dass zahlreiche Freiland- und Modellstudien zeigen, dass bei Anwesenheit von Filtrierern die Sicht im Wasser deutlich verbessert wird (James *et al.* 2000, Canale & Chapra 2002) und dem Wasser partikulärer Stickstoff effektiv entzogen wird. Bei einem durchschnittlichen Gehalt von 1 % N des Körpergewichtes (Lindahl *et al.* 2005), kann leicht ermittelt werden, welche Mengen an *Mytilus* oder auch an *Dreissena* nötig wären, um einen Reinigungseffekt zu erzielen.

Ausblick

Um die von der EU-WRRL gesetzten Zielstellung des guten ökologischen Zustandes zu erreichen, werden die derzeitigen Möglichkeiten der Nährstoffreduzierung im Einzugsgebiet der Küstengewässer nicht ausreichen. Vielmehr werden auch interne Maßnahmen zur Nährstoffreduzierung erforderlich sein. Die vorliegende Literaturstudie zeigt, dass nur die Ansiedlung der Miesmuschel *Mytilus edulis* für eine erfolgreiche Maßnahme der Nährstoffsenkung in Frage kommt. Bisherige Erfahrungen zeigen jedoch, dass sich diese Maßnahme wohl nicht über den möglichen Verkauf der Muscheln refinanzieren lässt, sondern mit öffentlichen Mitteln gefördert werden müsste. Aufgrund der durch vielfältige Studien aufgezeigten negativen Effekte von Langleinen-Kultivierung sollte nur eine Bodenkultivierung diskutiert werden, die je nach Ernte-Frequenz zudem Ansiedlungsmöglichkeiten für den Blasentang *Fucus vesiculosus* bietet, der in den letzten Jahrzehnten stark zurückgegangen ist (Karez & Schories 2005). Für die oligohalinen Küstengewässer kommt prinzipiell eine Sanierung über die Dreikantmuschel *Dreissena polymorpha* in Frage. Eine Vermarktung der geernteten Muscheln wie bei *Mytilus* ist hier aber bisher nicht möglich, so dass erhebliche Mehrkosten für die Entsorgung der Muschelbiomasse entstehen. Eine Alternative wäre hier die Nutzung dieser Biomasse für die Biogasgewinnung. Da sowohl *Mytilus* als auch *Dreissena* bereits in anderen Ländern erfolgreich kultiviert werden und letztere auch zur Nährstoffreduzierung genutzt wird, stellt sich nicht die Frage der technologischen Machbarkeit, sondern zum einen die Frage des ökologischen Wirkungsgrades und zum anderen der finanziellen Umsetzbarkeit. Bisherige Erfahrungen der Aquakultur haben gezeigt, dass eine Wirtschaftlichkeit von Muschelzuchten im Ostseeraum nicht gegeben ist. Eine Kopplung von wirtschaftlicher Vermarktung der aquatischen Organismen und gleichzeitiger Sanierung des Gewässers stellt eine völlig neue Dimension der Aquakultur dar, welche bisher nicht umgesetzt wurde. Um dies in Deutschland umzusetzen, ist eine neue ökonomische und ökologische Betrachtung als auch der politische Wille erforderlich, um Ressourcen zu nutzen und Umweltschutzziele umzusetzen.

Literatur

- Allen JR, Hawkins SJ (1993) Can biological filtration be used to improve water quality? Studies in the Albert Dock complex, Liverpool. [In:] White KN, Bellinger EG, Saul AJ, Symer M, Hendry K (ed.) Urban Waterside Regeneration, Problems and Prospects. Ellis Horwood series in Environmental Management, Science and Technology, Ellis Horwood Press, U.K. 377-385
- Almada-Villela PC (1984) The effects of reduced salinity on the shell growth of small *Mytilus edulis* L., Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 64: 171-182
- Andrulewicz E, Kruk-Dowgiallo, L, Osowiecki, A (2004a) An expert judgement approach to designating ecosystem typology and assessing the health of the Gulf of Gdansk. Coastline Reports 2: 53 – 61
- Andrulewicz E, Kruk-Dowgiallo L, Osowiecki A (2004b); Phytobenthos and macrozoobenthos of the Stupsk Bank stony reefs. Hydrobiologia 514: 163–170
- Araki C (1959) Seaweed polysaccharides. [In:] Wolfrom, ML (ed.) Carbohydrate Chemistry of Substances of Biological Interest. Proceedings of the 4th International Congress of Biochemistry, Vienna, Pergamon Press, London. 1: 15-30
- Austin AP (1960) Observations on *Furcellaria fastigiata* (L.) Lam. forma *aegagropila* Reinke in Danish waters together with a note on other unattached algal forms. Hydrobiologica 14: 255-277
- Bäck S, Lehvo A, Blomster J (2000) Mass occurrence of unattached *Enteromorpha intestinalis* on the Finnish Baltic Sea coast. Ann. Bot. Fennici 37: 155–161
- Bak A, Schouten P, de Vos W (2004) Waterzuivering door driehoeksmosselen (*Dreissena polymorpha*) in het Volkerak-Zoommeer necov – nederlands-vlaamse vereniging voor ecologie, wintermeeting 14 & 15 januari 2004, Gent Seiten: 46-47
- Behrendt H, Bach M, Huber P, Kormilch M, Opitz D, Pagenkopf WG, Schmoll O, Scholz G, Schweikart U, Uebe R (1999) Nährstoffbilanzierung der Flußgebiete Deutschlands. Texte des Umweltbundesamtes, Berlin, 288 p
- Bird CJ, Saunders GW, McLachlan J (1991) Biology of *Furcellaria lumbricalis* (Hudson) Lamouroux (Rhodophyta: Gigartinales), a commercial carrageenophyte. Journal of Applied Phycology 3: 61-82
- Black WAP, Cornhill WJ (1954) D-Galactose. Chemistry & Industry 18: 514-516
- Böttcher U (1990) Untersuchungen zu den biologischen Grundlagen einer Aquakultur der Miesmuschel (*Mytilus edulis* L.) in der Mecklenburger Bucht. Dissertation Universität Rostock, 131 p
- Böttcher U, Mohr T (1992) Miesmuscheln aus der Ostsee. Zum Vorkommen und zur Möglichkeit der fischereilichen Nutzung von Miesmuscheln in der Mecklenburger Bucht. Meer und Museum 8: 68-74
- Boström C, Baden SP, Krause-Jensen D (2003) The seagrasses of Scandinavia and the Baltic Sea. [In:] Green EP & Short FT (ed.) World atlas of seagrasses. California University Press, 310 S
- Breuer G (1989) Vegetationsstruktur, Biomasse und Produktivität der sublitoralen Rotalgengemeinschaften der Restsedimentgebiete in der Kieler Bucht. Christian-Albrechts-Univ. Kiel, Dissertation, 247 p
- Breuer G, Schwenke H (1988) Changes in macroalgal vegetation of Kiel Bight (Western Baltic Sea) during the past 20 years. Kieler Meeresforsch., Sonderh. 6: 241-255
- Canale RP, Chapra SC (2002) Modeling zebra mussel impacts on water quality of seneca river, New York, Tufts University. Journal of Environmental Engineering 128(12) 1158-1168
- Churchill AC (1983) Field studies on seed germination and seedling development in *Zostera marina*. Aquatic Botany 16: 21-29
- Coulson CB (1953) Proteins of marine algae. Chemistry & Industry 38: 997-998
- Dahlbäck B, Gunnarsson LÄH (1981) Sedimentation and sulphate reduction under a mussel culture. Marine Biology 63: 269-275
- Dennison WC (1985) Effects of light on photosynthesis and distribution of seagrasses. Estuaries 8(2B): 14A
- Dennison WC (1987) Effects of light on seagrass photosynthesis, growth and depth distribution. Aquatic Botany 27: 15-26
- Dennison WC, Alberte RS (1985) Role of daily light period in the depth distribution of *Zostera marina* (eelgrass). Mar. Ecol. Prog. Ser. 25: 51-61
- Dröscher W (1906) Die Förderung der Fischerei in Mecklenburg in den letzten 18 Jahren. Schwerin, 134 S

- Edwards E (1997) Molluscan fisheries in Britain. [In:] MacKenzie CL, Burrell VG Jr., Rosenfield A, Hobart WL (ed.) The history, present condition, and future of the molluscan fisheries of north and Central American and Europe, vol. 3, Europe. National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA Technical Report NMFS 129
- Feibicke M (2005) Konzept zur Renaturierung des Schlei-Ästuars. Rostocker Meeresbiologische Beiträge 14: 69-82
- Fenske C (2003) Die Wandermuschel *Dreissenia polymorpha* im Oderhaff und ihre Bedeutung für das Küstenzonenmanagement. Dissertation, EMAU Greifswald
- Fenske C (2005) Renaturierung von Gewässern mit Hilfe der Wandermuschel *Dreissenia polymorpha* (Pallas, 1771). Rostock. Meeresbiol. Beiträge 14: 55-68
- Fletcher RL (1996) The occurrence of "green tides" – a review. [In:] Schramm & Nienhuis (ed.) Marine benthic vegetation. Ecological Studies, Springer-Verlag 123: 7-43
- Fonseca MS (1994) A guide to transplanting seagrasses in the Gulf of Mexico. Texas A&M University, Sea Grant College Program, TAMU-SG-94-601, College Station, Texas
- Fonseca MS, Kenworthy WJ, Thayer GW (1998) Guidelines for the conservation and restoration of seagrasses in the United States and adjacent waters. NOAA Coastal Ocean Program Decision Analysis Series No. 12, NOAA Coastal Ocean Office, Silver Spring, Maryland
- FRS (2000) Shellfish production in Scotland 2000 [on-line]. Aberdeen: FRS (Fisheries Research Services). Available from: www.marlab.ac.uk/InfoPDF/AAAH-Shellfish%202000.pdf. [cited 07/08/02]
- Fürhaupter K, Wilken H, Meyer T (2003) Kartierung mariner Pflanzenbestände im Flachwasser der schleswig-holsteinischen Ostseeküste. Technical report, MARILIM Gewässeruntersuchung für das Landesamt für Wasserhaushalt und Küsten Schleswig-Holstein
- Grant J, Hatcher A, Scott DB, Pocklington P, Shafer CT, Winters GV (1995) A multidisciplinary approach to evaluating impacts of shellfish aquaculture on benthic communities. Estuaries 18: 124-144
- Guiry MD, Blunden G (1991) Seaweed Resources in Europe: Uses and Potential. Chichester: John Wiley & Sons
- Helcom (1988) Activities of the Commission 1987. Including: Declaration on the Protection of the marine Environment of the Baltic Sea. Baltic Sea Environment Proceedings 26: 170 p
- Hickman RW (1992) Mussel cultivation. [In:] Gosling, EM (ed.) The mussel *Mytilus*: ecology, physiology, genetics and culture. Amsterdam: Elsevier Science Publ. [Developments in Aquaculture and Fisheries Science]. 25: 465-510
- Hoffmann C (1952) Über das Vorkommen und die Menge industriell verwertbarer Algen an der Ostseeküste Schleswig-Holsteins. Kieler Meeresforsch. 9: 5-14
- Humm HJ (1951) Red Algae of Economic Importance. [In:] Tressler DK & Lemon, JMW (ed.) Marine Products of Commerce. Reinhold Publishing Corporation, New York
- Hupfer M, Scharf B (2002) Seentherapie: Interne Maßnahmen zur Verminderung der Phosphorkonzentration. – [In:] Steinberg C, Calmano W, Klapper H, Wilken RD (ed.) Handbuch Angewandte Limnologie. Ecomed-Verlag, Landsberg. VI-2.1.: 1-67
- IKZM (1999) Schlussfolgerungen aus dem Demonstrationsprogramm der Europäischen Kommission zum Integrierten Küstenzonenmanagement (IKZM). Europäische Kommission (Hrsg.)
- Jäger D, Koschel R (1995) Verfahren zur Sanierung und Restaurierung stehender Gewässer. Limnologie Aktuell 8: 330 p
- James WF, Barko JW, Davis M, Eakin HL, Rogala JT, Miller AC (2000) Filtration and Excretion by Zebra Mussels: Implications for Water Quality Impacts in Lake Pepin, Upper Mississippi River, U.S. Army Corps of Engineers. Journal of Freshwater Ecology 15(4) 429-43
- Jager Z, van Katwijk MM, van Pelt S (2002) Transplantation of Eelgrass (*Zostera marina*) to the Western Dutch Wadden Sea. Wadden Sea Newsletter 2: 23-25
- Johansson G, Eriksson BK, Pedersen M, Snoeijls P (1998) Long term changes of macroalgal vegetation in the Skagerrak area. Hydrobiologia 385: 121-138
- Karez R, Schories D (2005) Die Steinfischerei und ihre Bedeutung für die Wiederansiedlung von *Fucus vesiculosus* in der Tiefe. Rostocker Meeresbiologische Beiträge 14: 95-107
- Kaspar HF, Gillespie PA, Boyer IC, MacKenzie AL (1985) Effects of mussel aquaculture on the nitrogen cycle and benthic communities in Kenepuru Sound, Marlborough Sounds, New Zealand. Marine Biology 85: 127-136
- Kautsky H, Kautsky L, Kautsky N, Kautsky U, Lindblad C (1992) Studies on the *Fucus vesiculosus* Community in the Baltic Sea. Acta Phytogeogr. Suec. 78: 33-48

- Kautsky N (1982) Growth and size structure in a Baltic *Mytilus edulis* population. *Marine Biology* 68: 117-133
- Kjørboe T, Møhlenberg F (1981) Particle selection in suspension-feeding bivalves. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 5: 291–296
- Kireeva MS (1961) Fields of *Furcellaria fastigiata* (Huds.) Lamour. in the Baltic Sea (the area of the Saaremaa and Hiiumaa Isles). *Proc. NIIRH SNH, Latvia, Riga, SSR* 3: 411-417
- Kireeva MS (1964) Aggregations of unattached red algae in the sea areas of Soviet Union. In *Resources of marine algae and their use*. Moskau 1-25
- Kleeberg A (2005) Effektivität gebaggerter Sedimentationsfallen zur Elimination von Phosphor und suspendiertem Material in Flussmündungsgebieten. *Rostocker Meeresbiologische Beiträge* 14: 43-53
- Krause-Jensen D, Middelboe AL, Sand-Jensen K, Christensen PB (2000) Eelgrass, *Zostera marina*, growth along depth gradients: upper boundaries of the variation as a powerful predictive tool *Oikos* 91(2): 233-244
- Krause-Jensen D, Pedersen MF, Jensen C (2003) Regulation of eelgrass (*Zostera marina*) cover along depth gradients in Danish coastal waters. *Estuaries* 26: 866-877
- Krech M (2003) Leitbildorientierte Bewertung und Analyse der ökologischen Beschaffenheitssituation der inneren Küstengewässer im südlichen Ostseeraum sowie Möglichkeiten ihrer Verbesserung als Grundlage für die fachliche Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie. Dissertation an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock. 169 p
- Kruk-Dowgiallo L, Ciszewska P (1994) Próba rekonstrukcji łąk podwodnych w wewnetrznej Zatoce Puckiej. *Zatoka Pucka. Możliwosci rewaloryzacji*. ed. L Kruk-Dowgiallo L & Ciszewska P. IOS, Warszawa
- Lehnberg W (1978) Die Wirkung eines Licht-Temperatur-Salzgehalt Komplexes auf den Gaswechsel von *Delesseria sanguinea* (Rhodophyta) aus der westlichen Ostsee. *Bot. Mar.* 21: 485-497
- Levring T, Hoppe HA, Schmid OJ (1969) *Marine Algae: A survey of research and utilization*. Hamburg: Cram, de Gruyter & Co. [Botanica Marina Handbooks, Vol. 1.]
- Lindahl O, Hart R, Hernroth B, Kollberg S, Loo LO, Olrog L, Rehnstam-Holm AS, Svensson J, Svensson S, Syversen U (2005) Improving marine water quality by mussel farming: A profitable solution for Swedish society. *Ambio* 34: 131-138
- Lindberg B (1954) A new Glycoside from *Furcellaria fastigiata*. *Acta Chemica Scandinavica* 8(5): 869-869
- Lindberg B (1955) Low-molecular carbohydrates in algae. 10. Investigation of *Furcellaria fastigiata*. *Acta Chemica Scandinavica* 9: 1093-1096
- Lüning K (1990) *Seaweeds. Their environment, biogeography and ecophysiology*. New York: John Wiley & Sons
- Lund S, Bjerre-Petersen E (1952) Industrial utilization of Danish seaweeds. *Proc. Int. Seaweed Symp.* 1: 85-87
- Mathieson AC, Burns RL (1975) Ecological studies of economic red algae. 5. Growth and reproduction of natural and harvested populations of *Chondrus crispus* (Stackhouse) in New Hampshire. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 17: 137-156
- Meixner R (1989) Vertikale Muschelkultur-Erprobung.- *Inf. Fischw.* 36: 162-163
- Moebius K (1870) Über Austern und Miesmuschelzucht und die Hebung dergleichen an den norddeutschen Küsten. *Wiegandt & Hempel, Berlin*, 67 p
- Morrissey J, Kraan S, Guiry MD (2001) *A guide to commercially important seaweeds on the Irish coast*. Bord Iascaigh Mhara: Dun Laoghaire
- Msuya FE, Neori A (2002) *Ulva reticulata* and *Gracilaria crassa*: Macroalgae That Can Biofilter Effluent from Tidal Fishponds in Tanzania Western Indian Ocean. *J. Mar. Sci.* 1(2): 117–126
- Nabil S, Cosson, J (1996) Seasonal variations in sterol composition of *Delesseria sanguinea* (Ceramiales, Rhodophyta). *Hydrobiologia* 326/327: 511-514
- Neudecker T (1978) Preliminary results of investigations on the maturation and sex ratio of oysters (*C. gigas*) transplanted into the Flensburg Fjord, Western Baltic. *Coun. Meet. ICES, Mariculture Comm.*, Ref. Shellfish Comm 13: 1-11
- Neudecker T (1979) Zur Qualität von Austern aus der Flensburger Förde. *Inf. Fischw* 26(5) 142-143.
- Neudecker T (1984) Wachstum eingeschleppter Muschelarten in der Flensburger Förde. *Inf. Fischw* 31(1): 27-29

- Neudecker T (1985) Außenstelle Langballigau des Instituts für Küsten- und Binnenfischerei wurde geschlossen. *Inf. Fischw* 32(2): 73
- Ohno M (1993) Cultivation of the green alga, *Monostroma* and *Enteromorpha "aonori"*. pp. 51-56. [In:] Ohno & Critchley (ed.) *Seaweed cultivation and marine ranching*. Yokosuka, Japan: Japan International Cooperation Agency, 151 p
- Olesen B, Sand-Jensen, K (1994a) Biomass-density patterns in the temperate seagrass *Zostera marina*. *Marine Ecology Progress Series* 109: 283 - 291
- Olesen, B, Sand-Jensen, K (1994b) Demography of shallow eelgrass (*Zostera marina*) populations - shoot dynamics and biomass development. *Journal of Ecology* 82: 379 - 390
- Orth RJ, Luckenbach, M, Moore KA (1994) Seed dispersal in a marine macrophyte: implications for colonization and restoration. *Ecology* 75:1927-1939
- Park BH, Park MS, Kim BY, Hur SB, Kim SJ (1988) Culture of the pacific oyster (*Crassostrea gigas*) in the Republic of Korea, Seafarming Development and Demonstration Project (RAS/86/024), FAO Publication. <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB706E/AB706E00.htm>, Stand: 29.09.2005
- Pedersen MF, Krause-Jensen D (1996) Regulation of vertical and horizontal distribution of eelgrass. [In:] Kaas H & Møhlenberg F (ed.) *Marine Areas. Danish Inlets - State of the Environment, Trends and Causal Relations. The Monitoring Programme under the Action Plan for the Aquatic Environment 1994* (In Danish). Faglig rapport fra DMU. 179: 73-79
- Pihl L, Isaksson H, Wennhage H, Moksnes PO (1995) Resent increase of filamentous algae in shallow Swedish bays: effects on the community structure of epibentic fauna and fish. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 29: 1-10
- Rasmussen E (1977) The wasting disease of eelgrass (*Zostera marina*) and its effects on environmental factors and fauna. [In:] McRoy CP & Helfferich C (ed.) *Seagrass ecosystems*. Marcel Dekker, New York. p 1-51
- Reeders HH, De Vaate AB (1990) Zebra mussels (*Dreissena polymorpha*): a new perspective for water quality management. *Hydrobiologia*. 200: 437-450
- Reeders HH, De Vaate AB, Slim FJ (1989) The filtration rate of *Dreissena polymorpha* (Bivalvia) in three Dutch lakes with reference to biological water quality management. *Freshwater Biol.* 22: 133-141
- Reinke J (1889) Algenflora der westlichen Ostsee deutschen Antheils. Eine systematisch-pflanzengeographische Studie. Bericht der Kommission zur Wissenschaftlichen Untersuchung der Deutschen Meere in Kiel. 6: (III-XI), 101 p
- Reise K (1988) Pacific oysters invade mussel beds in the European Wadden Sea. *Senckenbergiana maritima* 28: 167-175
- Reise K, Siebert I (1994) Mass occurrence of green algae in the German Wadden Sea. - *Dt. Hydrogr. Z. Suppl.* 1: 171-180
- Remane A, Schlieper C (1971) *The biology of brackish waters*, Wiley Interscience, New York. 372 S.
- Rietema H (1993) Ecotypic differences between Baltic and North Sea populations of *Delesseria sanguinea* and *Membranoptera alata*. *Botanica Marina* 36: 15-21
- Riisgård HU, Møhlenberg F (1979) An improved automatic recording apparatus for determining the filtration rate of *Mytilus edulis* as a function of size and algal concentration. *Mar. Biol.* 52: 61-67
- Riisgård HU (2001) On measurement of filtration rates in bivalves—the stony road to reliable data: review and interpretation. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 211: 275-291
- Schernewski G, von Bodungen B (2000) Integrative, transdisziplinäre Forschung zum Küstenzonenmanagement: Eine kritische Bestandsaufnahme. *Integrated transdisciplinary research for coastal management: A critical review. Meereswissenschaftliche Berichte.* 41: 67-72
- Schories D (1995) Population ecology and mass development of *Enteromorpha* spp. (Chlorophyta) in the Wadden Sea. *Ber. Inst. Meeresk. Kiel* 271: 1-145
- Schories D, Selig U, Jegzents K, Schubert H (2005) Klassifizierung der äußeren Küstengewässer an der deutschen Ostseeküste nach der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie anhand von Makrophyten – eine Zwischenbilanz. *Rostocker Meeresbiologische Beiträge* 14: 135-150
- Schramm W (1996) Veränderungen von Makroalgen- und Seegrasbeständen. [In:] Lozan J, Lampe R, Matthäus M, Rachor E, Rumohr H & von Westernhagen H (ed.) *Warnsignale aus der Ostsee*, Parey, Berlin. p 150-157

- Schwenke H (1969) Meeresbotanische Untersuchungen in der westlichen Ostsee als Beitrag zu einer marinen Vegetationskunde. Int. Rev. Ges. Hydrobiol. 54: 35-94
- Selby HH, Selby TA (1959) Agar. [In:] Whistler RL & BeMiller JN (ed.) Industrial Gums. Academic Press Inc., New York
- Selig U (2005) Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie – Ansätze und Konzepte zur Erreichung des guten ökologischen Zustands für Küstengewässer. Rostocker Meeresbiologische Beiträge 14: 125-134
- Simpson FJ, Shacklock PF (1979) The cultivation of *Chondrus crispus*. Effect of temperature on growth and carageenan production. Botanica Marina 22: 295-298
- Smith F, Montgomery R (1959) The Chemistry of Plant Gums and Mucilages. Reinhold Publishing Corporation, New York
- Stoloff L (1962) Algal classification - An aid to improved industrial utilization. Economic Botany 16(2): 86-94
- Sohn CH, Kain JM (1989) *Undaria*, *Laminaria* and *Enteromorpha* cultivation in Korea. [In:] Kain JM, Andrews JW & Mc Gregor BJ (ed.) Outdoor seaweed cultivation. Proceedings of the Second Workshop of COST 48 Subgroup 1. Port Erin, Isle of Man, UK. 21-23 April 1989, pp. 42-45
- Ssymank A, Hauke U, Rückriem C, Schröder E (1998) Das europäische Schutzgebietssystem Natura 2000. BfN-Handbuch zur Umsetzung der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie und der Vogelschutz-Richtlinie. Schr.R. f. Landschaftspfl. u. Natursch. 53: 560 p
- Stenton-Dozey JME, Jackson L F, Busby AJ (1999) Impact of mussel culture on macrobenthic community structure in Saldanha Bay, South Africa. Marine Pollution Bulletin 39: 1-12
- Stoll A, Jucker E (1958) Heteroside. [In:] Ruhland W (ed.) Handbuch der Pflanzenphysiologie. Springer Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg
- Thiele V, Mehl D (1995) Ökologisch begründete Sanierungskonzepte für das Gewässereinzugsgebiet der Warnow (Mecklenburg-Vorpommern). Endbericht zum BMBF-Forschungsvorhaben 0339517A, Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt und Natur Mecklenburg-Vorpommern 2: 158 p
- Thom RM (1990) A review of eelgrass (*Zostera marina* L.) transplanting projects in the Pacific Northwest. The Northwest Environmental Journal 6:121-37
- van Katwijk MM (2003) Reintroduction of eelgrass (*Zostera marina* L.) in the Dutch Wadden Sea; a research overview and management vision. [In:] Wolff, WJ, Essink K, Kellermann A, van Leeuwe MA (ed.) Challenges to the Wadden Sea area, Proceedings of the 10th International Scientific Wadden Sea Symposium (Groningen, The Netherlands 31 Oct. – 3 Nov. 2000). Ministry of Agriculture, Nature Management and Fisheries and Dep of Marine Biology University of Groningen
- Vogt H, Schramm W (1991) Conspicuous decline of *Fucus* in Kiel Bay (Western Baltic): what are the causes? Mar. Ecol. Prog. Ser. 69: 189-194
- Wallentinus I (1991) The Baltic Sea gradient. [In:] Mathieson AC & Nienhuis PH (ed.) Intertidal and littoral ecosystems. Ecosystems of the world. Elsevier, Amsterdam. 24: 83-108
- Wilkinson SB, Zheng W, Allen JR, Fielding NJ, Wanstall VC, Russell G, Hawkins SJ (1996) Water quality improvements in Liverpool Docks: The role of filter feeders in algal and nutrient dynamics, P.S.Z.N.I: Marine Ecology 17: 197-211
- Wolff WJ (2005) Non-indigenous marine and estuarine species in The Netherlands. Zool. Med. Leiden 79: 1-116

Autoren:

Dr. Dirk Schories,
 Dr. Uwe Selig
 Christof Schygula
 Universität Rostock, Institut für Biowissenschaften
 Albert Einstein Str. 3, 18051 Rostock
 Email: dirk.schories@gmx.de
 uwe.selig@biologie.uni-rostock.de