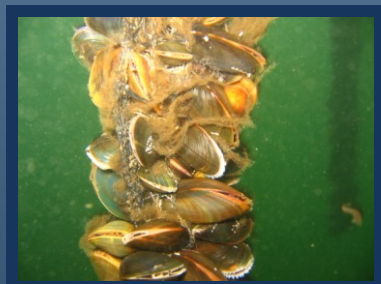
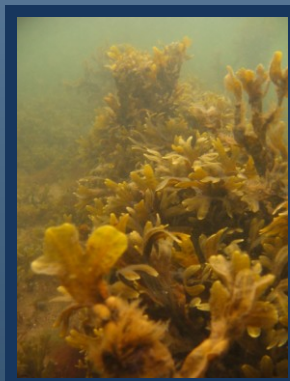


REPORT

AQUAKULTUR UND KLIMA- WANDEL IN DER OSTSEE

Peter Krost
Unter Mitarbeit von Martina Mühl

RADOST-Berichtsreihe
Bericht Nr. 26
ISSN: 2192-3140




GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Kooperationspartner

 <p>Büro für Umwelt und Küste, Kiel BfUK</p>	 <p>Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Berlin IGB</p>
 <p>Geographisches Institut der Christian Albrechts-Universität zu Kiel CAU</p>	 <p>Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde IOW</p>
 <p>Coastal Research & Management, Kiel CRM</p>	 <p>Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, Berlin IÖW</p>
 <p>Ecologic Institut, Berlin (Koordination) Ecologic</p>	 <p>Landesbetrieb Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein, Husum LKN</p>
 <p>EUCC – Die Küsten Union Deutschland, Warnemünde EUCC-D</p>	 <p>Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein LLUR</p>
 <p>GICON – Großmann Ingenieur Consult GmbH – Niederlassung Rostock GICON</p>	 <p>Mecklenburg Vorpommern Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Mittleres Mecklenburg StALU MM</p>
 <p>H.S.W. Ingenieurbüro Gesellschaft für Energie und Umwelt mbH, Rostock HSW</p>	 <p>Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Braunschweig TI</p>
 <p>Helmholtz-Zentrum Geesthacht Zentrum für Material- und Küstenforschung HZG</p>	 <p>Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Wasserbau TUHH</p>
 <p>Institut für Angewandte Ökosystemforschung, Neu Broderstorf IfAÖ</p>	 <p>Universität Rostock, Fachgebiet Küstenwasserbau URCE</p>

REPORT

AQUAKULTUR UND KLIMA- WANDEL IN DER OSTSEE

Peter Krost
unter Mitarbeit von Martina Mühl
Coastal Research & Management CRM

RADOST-Berichtsreihe
Bericht Nr. 26

ISSN: 2192-3140

Kiel, April 2014

Inhalt

Kooperationspartner	2
Inhalt	5
1 Einleitung	7
2 Klima und Klimaszenarien für die Ostsee und ihre Bedeutung für die marine Aquakultur	10
2.1 Temperaturzunahme.....	10
2.1.1 Auswirkungen auf die Aquakultur	11
2.2 Meeresspiegelanstieg	11
2.2.1 Auswirkungen auf die Aquakultur	12
2.3 Versauerung des Meerwassers (Abnahme des pH-Wertes).....	13
2.3.1 Auswirkungen auf die Aquakultur	13
2.4 Niederschlag / Salzgehalt / Nährstoffe	13
2.4.1 Auswirkungen auf die Aquakultur	15
2.5 Wind	15
3 Veränderungen der Artenzusammensetzung und der Nahrungsbeziehungen in der Ostsee	16
3.1 Einwanderung neuer Arten	16
3.1.1 Auswirkungen auf die Aquakultur	16
3.2 Plankton.....	18
4 Arten für die Aquakultur in der westlichen Ostsee	20
4.1 Derzeit in der Ostsee kultivierte Arten	22
4.1.1 Zuckertang (<i>Saccharina latissima</i>).....	22
4.1.2 Meerampfer (<i>Delesseria sanguinea</i>).....	25
4.1.3 Miesmuschel (<i>Mytilus edulis</i> L.).....	26
4.1.4 Regenbogenforelle (Lachsforelle, <i>Oncorhynchus mykiss</i>)	30
4.2 Zukünftige Arten.....	32
4.2.1 Blasentang (<i>Fucus vesiculosus</i> L.)	32
4.2.2 Besentang (<i>Gracilaria vermiculophylla</i> (Ohmi) Papenfuss).....	34
4.2.3 Dicklippige Meeräsche (<i>Chelon labrosus</i> (Risso, 1827)).....	36
5 Nachhaltige, klimaangepasste Aquakultur in der Kieler Förde (Kieler Bucht)	38

5.1	Einleitung	38
5.2	Eine poly-integrierte IMTA in der Kieler Förde.....	39
5.2.1	Rezirkulationsanlage an Land	40
5.2.2	Fischfutterproduktionsanlage.....	40
5.2.3	Netzgehegefarm.....	40
5.2.4	Langleinenkultur	42
5.2.5	Nutzung des Meeresbodens.....	42
5.2.6	Bilanzierungen.....	43
	Literaturverzeichnis	45

1 Einleitung

Das Klima wandelt sich. Es gibt keine berechtigten Zweifel mehr daran, dass der Klimawandel maßgeblich von menschlichen Aktivitäten hervorgerufen und vorangetrieben wird. Vor allem der Ausstoß klimarelevanter Gase (Kohlendioxid, Methan, Lachgas) trägt zu einem Anstieg der Globaltemperaturen bei (IPCC 2007a). Natürliche Faktoren mit dem Potential zur Veränderung des Klimas sind dabei von untergeordneter Bedeutung. Die Rolle der Sonnenaktivität erklärt nur Temperaturveränderungen im Bereich von 0,1 bis 0,3 Grad Celsius (Feulner & Rahmstorf 2010). Im Vergleich zu Klimaänderungen vergangener Erdperioden zeichnet sich der gegenwärtig ablaufende Prozess durch eine besonders hohe Geschwindigkeit aus. Die Ostseeregion ist dem Klimawandel besonders stark ausgesetzt (HELCOM 2007, Schernewski *et al.* 2011).

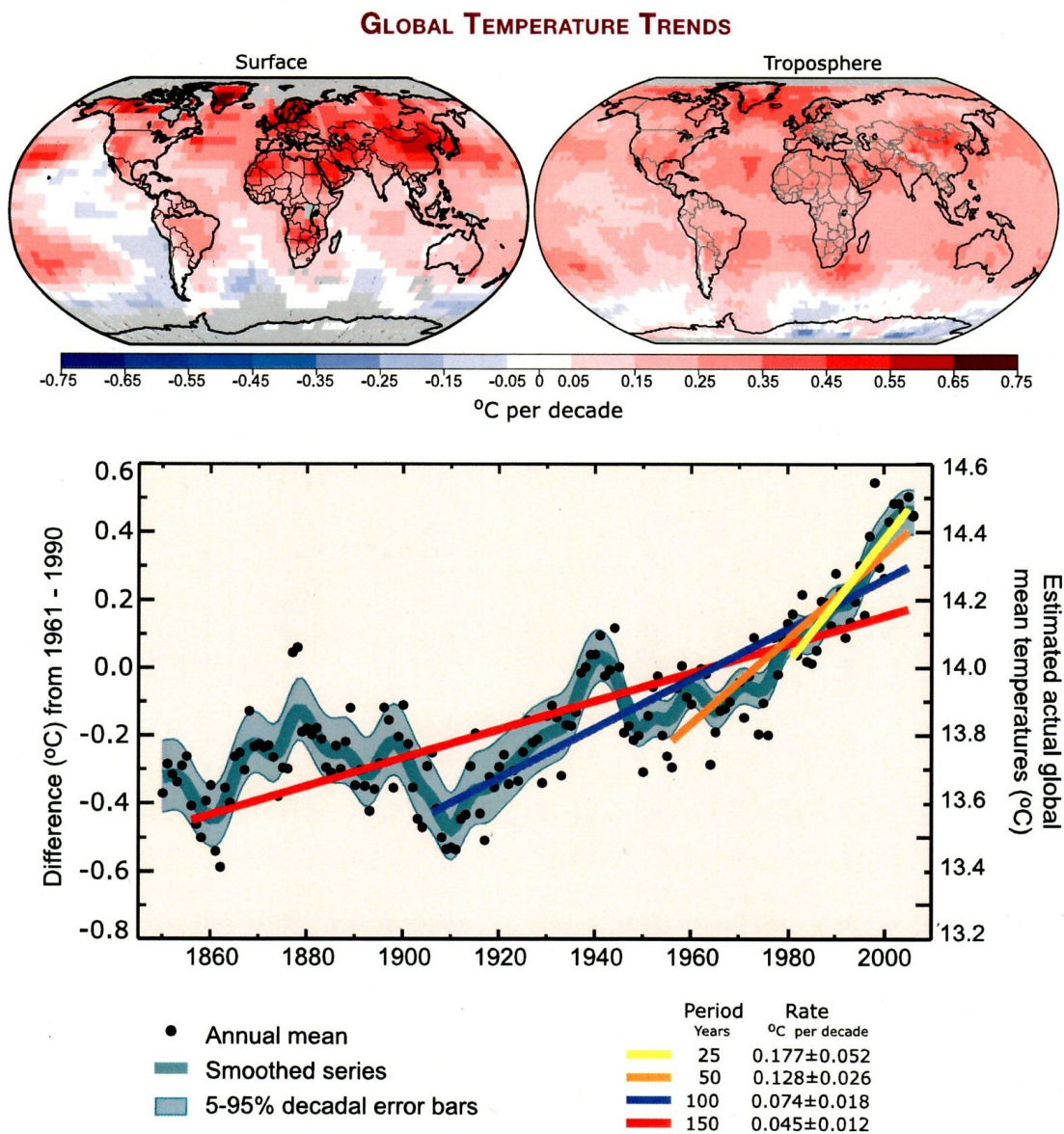


Abb. 1: Globale Temperaturtrends. Aus IPCC 2007a.

Die Verbreitungsmuster lebender Organismen sind wesentlich durch das Klima bestimmt. Licht, Temperatur, Niederschlag und Wind sind wichtige limitierende Parameter für die Verbreitung von Pflanzen und Tieren in aquatischen Systemen. Im Laufe der Erdgeschichte hat sich das Klima immer wieder verändert, und abhängig von der Intensität und Geschwindigkeit dieser Änderungen haben die Biota in unterschiedlichster Weise reagiert. Es gibt einen globalen wissenschaftlichen Konsens, dass der Klimawandel deutliche Auswirkungen auf die Biodiversität haben wird (z. B. Gitay *et al.* 2002). Damit haben die Auswirkungen des Klimawandels auch Einfluss auf die Aquakultur in der westlichen Ostsee, woraus sich Risiken, aber auch neue Chancen ergeben.

Trotz des zunehmenden Bewusstseins vieler Menschen für die mit dem Klimawandel verbundenen Probleme steigert sich der Ausstoß klimarelevanter Gase fast ungebremst. Die Klimagipfel der letzten Jahre (Doha 2012, Kopenhagen 2009) haben die Hoffnungen auf eine Einigung der Staatengemeinschaft im Sinne einer globalen Klimapolitik zunichte gemacht.

Es ist daher davon auszugehen, dass die Projektionen der Klimaforscher kaum mehr aufzuhalten sind. Dabei werden unterschiedliche Szenarien aufgestellt, die auf unterschiedlichen ökonomischen, sozialen und politischen Entwicklungen basieren. Der folgende Kasten charakterisiert die wichtigsten Klimaszenarien (IPCC 2007b).

A1. Die A1-Modellgeschichte bzw. -Szenarien-Familie beschreibt eine zukünftige Welt mit sehr raschem Wirtschaftswachstum, einer Mitte des 21. Jahrhunderts kulminierenden und danach rückläufigen Weltbevölkerung und rascher Einführung neuer und effizienterer Technologien. Wichtige grundlegende Themen sind Annäherung von Regionen, Entwicklung von Handlungskompetenz sowie zunehmende kulturelle und soziale Interaktion bei gleichzeitiger substantieller Verringerung regionaler Unterschiede der Pro-Kopf-Einkommen. Die A1-Szenarien-Familie teilt sich in drei Gruppen auf, die unterschiedliche Ausrichtungen technologischer Änderungen im Energiesystem beschreiben. Die drei A1-Gruppen unterscheiden sich in ihrer technologischen Hauptstoßrichtung: fossil-intensiv (A1FI), nichtfossile Energiequellen (A1T) oder eine ausgewogene Nutzung aller Quellen (A1B) (wobei ausgewogene Nutzung definiert ist als eine nicht allzu große Abhängigkeit von einer bestimmten Energiequelle und durch die Annahme eines ähnlichen Verbesserungspotentials für alle Energieversorgungs- und -verbrauchstechnologien).

A2. Die A2-Modellgeschichte bzw. -Szenarien-Familie beschreibt eine sehr heterogene Welt. Das Grundthema ist Autarkie und Bewahrung lokaler Identitäten. Regionale Fruchtbarkeitsmuster konvergieren nur sehr langsam, was eine stetig zunehmende Bevölkerung zur Folge hat. Die wirtschaftliche Entwicklung ist vorwiegend regional orientiert und das Pro-Kopf-Wirtschaftswachstum und technologische Veränderungen sind bruchstückhafter und langsamer als in anderen Modellgeschichten.

B1. Die B1-Modellgeschichte bzw. -Szenarien-Familie beschreibt eine sich näher kommende Welt, mit der gleichen, Mitte des 21. Jahrhunderts kulminierenden und danach rückläufigen Weltbevölkerung wie in der A1-Modellgeschichte, jedoch mit raschen Änderungen der wirtschaftlichen Strukturen in Richtung einer Dienstleistungs- und Informationswirtschaft bei gleichzeitigem Rückgang des Materialverbrauchs und Einführung von sauberen und ressourcen-effizienten Technologien. Das Schwergewicht liegt auf globalen Lösungen für eine wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit, einschließlich erhöhter sozialer Gerechtigkeit, aber ohne zusätzliche Klimainitiativen.

B2. Die B2-Modellgeschichte bzw. -Szenarien-Familie beschreibt eine Welt mit Schwerpunkt auf lokalen Lösungen für eine wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit. Es ist eine Welt mit einer stetig, jedoch langsamer als in A2 ansteigenden Weltbevölkerung, wirtschaftlicher Entwicklung auf mittlerem Niveau und weniger raschem, dafür vielfältigerem technologischem Fortschritt als in den B1- und A1-Modellgeschichten. Obwohl das Szenario auch auf Umweltschutz und soziale Gerechtigkeit ausgerichtet ist, liegt der Schwerpunkt auf der lokalen und regionalen Ebene.

Dabei beschreibt die „Familie“ A1 die mögliche mittlere Änderung, A2 die mögliche größte und B1 die mögliche kleinste Änderung der Klimaparameter des jeweiligen Zeitraums gegenüber den Mittelwerten des Zeitraums 1961 – 1990.

Durch die diskutierten Szenarien wird nicht nur die marine Umwelt in Mitleidenschaft gezogen. Höhere Temperaturen, trockenere Sommer etc. ziehen auch einen veränderten Bedarf aller an-

deren – auch terrestrischen - Ressourcen nach sich. Daraus ergeben sich veränderte Bedarfe und Ansprüche auch an die Aquakultur (Cochrane *et al.* 2009).

Im Tourismusbereich wird eine stärkere Fluktuation in Richtung Norden erwartet, da es in den klassischen Strandurlandsländen im Mittelmeerraum möglicherweise zu heiß wird und Probleme in der Wasserversorgung erwartet werden. Dadurch könnte sich an Nord- und Ostsee die Raumkonkurrenz zwischen touristischer Nutzung und Aquakultur vergrößern. Die bisherigen klassischen Arten der Fischerei der Ostsee, Sprotte, Hering und Dorsch (Kabeljau), ziehen sich weiter nach Norden zurück. Die heimische Fischerei muss sich umstellen. Es ist denkbar, dass Fischer ein neues Betätigungsfeld in der Aquakultur finden. Die Bereitschaft dazu ist – zumindest in der jüngeren Generation – vorhanden (Paglialonga 2012).

2 Klima und Klimaszenarien für die Ostsee und ihre Bedeutung für die marine Aquakultur

Die Ostsee ist das größte Brackwassermeer der Erde und damit ein einzigartiger Lebensraum. Neben originären Brackwasserarten leben sowohl limnische als auch marine Arten bis zu ihrer jeweiligen halinen Grenze in der Ostsee. Dieser Sachverhalt stellt hohe Anforderungen an den Osmose- und Salzwasserhaushalt der Meeresorganismen. Deshalb sind Verschiebungen in der Artzusammensetzung sowohl für die Tier- als auch für die Pflanzenwelt schon bei geringfügigen Veränderungen der abiotischen Faktoren zu erwarten.

Für die Aquakultur sind folgende Aspekte des Klimawandels von besonderer Bedeutung:

- Temperaturzunahme
- Meeresspiegelanstieg
- niedrigerer pH-Wert
- mehr Niederschläge,
- dadurch mehr Nährstoffe
- und Verringerung des Salzgehaltes
- heftigere Stürme und Sturmfluten / Hochwasser

2.1 Temperaturzunahme

Die Oberflächentemperatur der Ostsee hat sich im Zeitraum von 1995 bis 2005 um 0,8 °C erhöht (Umweltbundesamt 2009). Diese Tatsache spiegelt sich in einer verminderten Anzahl von Frosttagen und verminderter winterlicher Eisdicke wider.

Für den deutschen Küstenraum gelten aus Sicht der Klimaforscher folgende Szenarien als möglich: Hinsichtlich des Temperaturhaushalts ist eine Erhöhung der mittleren Jahrestemperatur um 1,5 bis 3,0 °C über die nächsten 100 Jahre zu erwarten. Dabei werden vermutlich die Temperaturanstiege im Winterhalbjahr überproportional hoch sein.

Tab. 1: Mögliche zukünftige Veränderungen der Monatstemperaturen im Vergleich zu heute. Nach www.norddeutscher.klimaatalas.de

Anstieg der mittleren Monatstemperaturen im Vergleich zu heute (Mittelwert 1961-1990) in °C	Frühling	Sommer	Herbst	Winter
2011 – 2040	0,2	0,8	1,1	1
2041 – 2070	1,3	1,7	1,9	2,1
2071 – 2100	2,3	3,1	3,1	3,2

Jüngere Ergebnisse (Petoukhov & Semenov 2010) deuten allerdings darauf hin, dass es innerhalb der im Mittel wärmeren Winterperioden zu heftigeren Kälteeinbrüchen kommen kann. Durch wärmere untere Luftschichten über der Arktis werden die Luftströmungen verändert, was zu einem stärkeren Einstrom kühlerer Luft nach Nordeuropa führen kann, wodurch mit einer Verdreifachung der Wahrscheinlichkeit extrem kalter Winter in Europa und Nordasien gerechnet werden muss.

2.1.1 Auswirkungen auf die Aquakultur

Für die Arten, die sich im „Komfortbereich“ ihres Temperaturspektrums befinden (Miesmuscheln, Blasentang etc.), wird ein Temperaturanstieg von wenigen Grad keinen wesentlichen Stress bedeuten. Anders sieht es bei Arten aus, die sich am klimatischen Rand ihres Verbreitungsgebietes befinden. Bei diesen kann entweder mit einer Habitaterweiterung im Betrachtungsraum westliche Ostsee (z. B. Besentang, Meeräsche, Wolfsbarsch) oder mit einem Rückzug (Zuckertang) gerechnet werden.

2.2 Meeresspiegelanstieg

Der Anstieg des Meeresspiegels ist eine weltweit dokumentierte Tatsache, die aus dem Abschmelzen von Festlandsgletschern und der Ausdehnung des Meerwassers durch höhere Temperaturen hervorgerufen wird und letztlich eine Auswirkung des durch den Menschen verursachten Klimawandels ist. Der bisherige Anstieg des Meeresspiegels um ca. 15-20 cm/Jhd. (IPCC 2007a) wird sich, bedingt durch den Treibhauseffekt, voraussichtlich beschleunigen. Abschätzungen des IPCC haben ergeben, dass dieser Anstieg im 21. Jahrhundert 40 bis 140 cm im globalen Mittel betragen wird, wobei der wahrscheinliche Trend mit 50 cm angegeben wird.

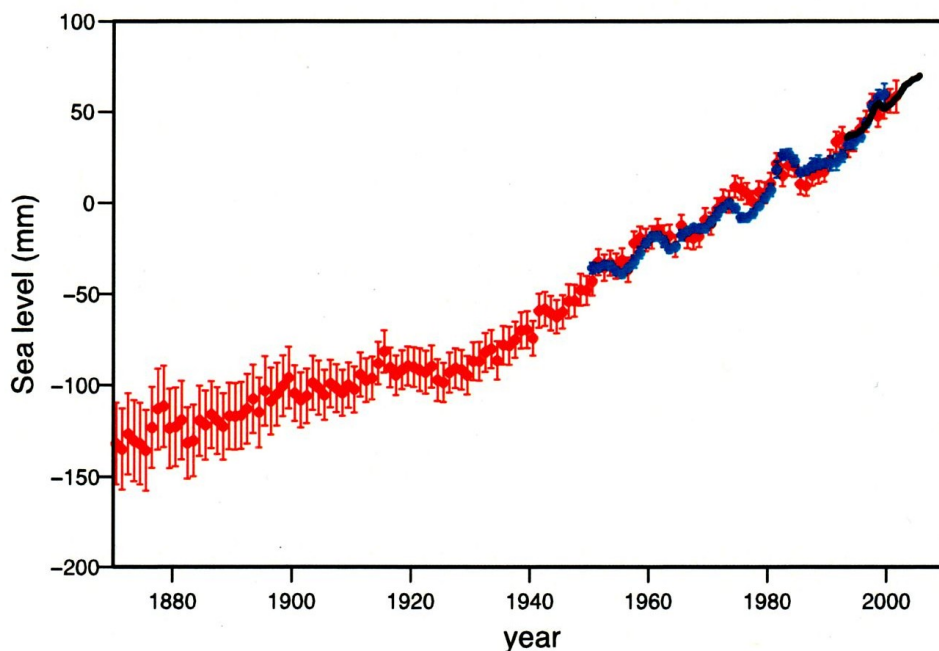


Abb. 2: Verlauf des bisherigen Meeresspiegelanstiegs. Aus IPCC 2007a.

Derzeit geht man an der deutschen Ostseeküste in konservativen Schätzungen von einem Meeresspiegelanstieg 1 - 2 mm pro Jahr aus (Fröhle *et al.* 2011). Messungen einer Langzeitserie durch Satelliten-Vermessungen (Topex / Poseidon, später Jason 1 und 2) ergeben sogar einen globalen Trend von 3,2 mm pro Jahr für die beiden vergangenen Jahrzehnte.

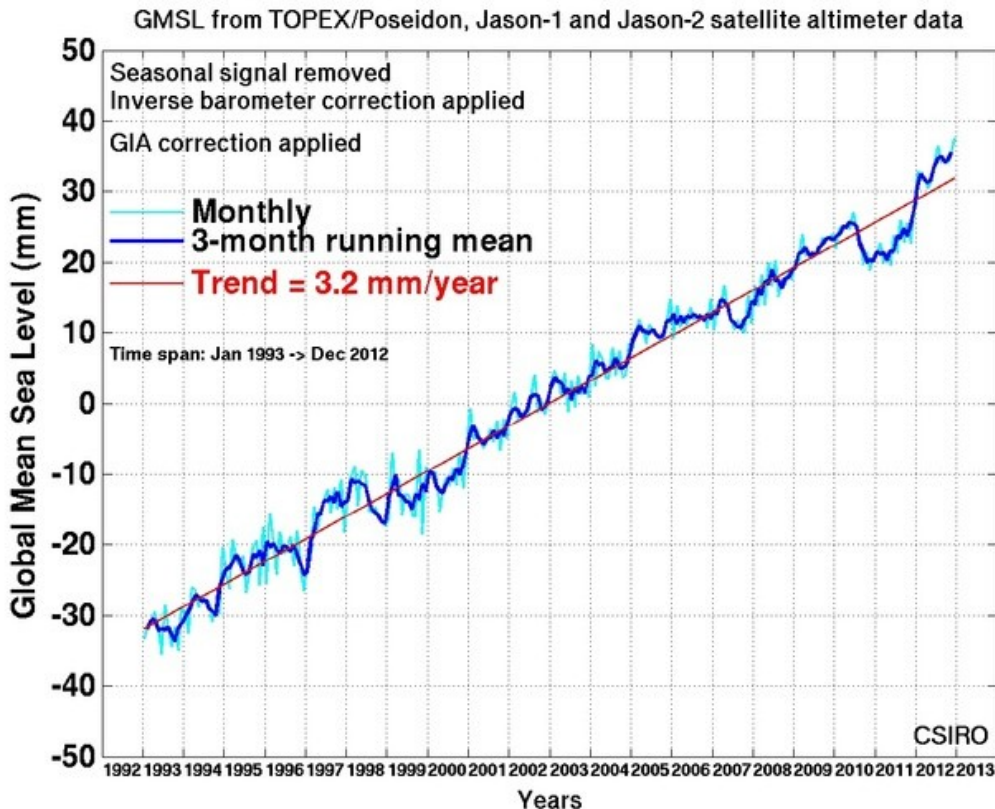


Abb. 3: Meeresspiegelhöhenmessungen mit den Satelliten Topex / Poseidon, Jason 1 und Jason 2 (<http://www.cmar.csiro.au/>).

2.2.1 Auswirkungen auf die Aquakultur

Der höhere Meeresspiegel kann zu einem Eindringen von salzigem Meerwasser in das Grundwasser führen. Für küstennahe Süßwasser-Aquakulturen kann dieser Effekt problematisch werden, vor allem wenn diese auf Grundwasser als Hälterungsmedium angewiesen sind. Abhilfe könnte durch entsprechende bauliche Maßnahmen oder einen Wechsel zur Kultivierung mariner bzw. an Brackwasser angepasster Arten geschaffen werden.

Das Schadenspotential durch Sturmfluten nimmt zu, da durch den Meeresspiegelanstieg Sturmfluten heute ein höheres Ausgangsniveau als früher haben und entsprechend höher auflaufen. Alle Installationen (Verankerungen, Landanlagen etc.) müssen an höhere Meeresspiegel angepasst werden, optimalerweise durch flexible Systeme.

2.3 Versauerung des Meerwassers (Abnahme des pH-Wertes)

Gelöstes CO₂ trägt zu einer Absenkung des pH-Wertes bei. Die Versauerung im Küstenbereich der Ostsee ist messbar. Der heutige pH-Wert ist um 0,1 logarithmische Skalenteile niedriger als zu vorindustriellen Zeiten, was einer Zunahme von H⁺-Ionen von etwa 26% entspricht.

Die zunehmende Versauerung des Meerwassers ist Forschungsgegenstand des GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel. Wenn die weltweiten Kohlendioxid-Abgase (CO₂) unverändert weiter steigen, schätzen die Kieler Wissenschaftler, dass der pH-Wert der Meere um weitere 0,4 Einheiten bis zum Jahr 2100 absinkt. Die Versauerung führt zu einer Reduzierung der Konzentration an Karbonat-Ionen im Meerwasser. Karbonat (CO₃²⁻) ist der Baustein für alle Kalk bildenden Organismen im Meer: Korallen, Muscheln und Schnecken, aber auch planktische Kalkbildner wie Kalkalgen, Kammerlinge und Flügelschnecken. Untersuchungen bestätigen, dass Kalkbildner auf sinkende Karbonatsättigung mit verminderter Kalkbildung (bis hin zu Fehlbildungen ihrer Kalkskelette) reagieren.

Auf der Seite http://www.futureocean.org/de/cluster/ueberblick/A1_ozeanversauerung.php finden sich detaillierte Informationen (Zugriff am 03.04.2014).

2.3.1 Auswirkungen auf die Aquakultur

Auswirkungen der Versauerung sind in der Aquakultur zunächst in besonderer Weise für die kalkbildenden Organismen zu erwarten, also Muscheln und Schnecken. Untersuchungen von Thomsen *et al.* (2013) haben allerdings gezeigt, dass Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) niedrigere pH-Werte ohne Wachstumseinbußen aushalten, wenn genügend Nahrung zur Verfügung steht. Thomsen *et al.* sehen allerdings bei weiter zunehmender Versauerung Schädigungen als sehr wahrscheinlich an.

Austern scheinen sehr viel sensibler als Miesmuscheln auf einen Abfall des pH-Wertes im Meerwasser reagieren. Vor allem die Larven der pazifischen Auster (*Crassostrea gigas*) sind betroffen. Diese müssen innerhalb der ersten 48 Stunden ihres Lebens, d. h. noch vor der ersten Nahrungsaufnahme ihre Schale bilden, was einen enormen energetischen Aufwand darstellt, der durch niedrigere pH-Werte noch vergrößert wird (Waldbusser *et al.* 2013).

Auch beim Meerohr (oder Abalone, *Haliotis spec.*) wurden Schädigungen festgestellt. Untersuchungen in Neuseeland zeigten, dass zwar nicht die Sterblichkeit, wohl aber das Wachstum juveniler Abalone bei Erniedrigung des pH-Wertes auf 7,6 drastisch (bis 50%) reduziert wird (Cunningham 2013).

2.4 Niederschlag / Salzgehalt / Nährstoffe

Die Anzahl der Niederschlagsereignisse in der Ostseeregion erhöhte sich in den vergangenen Jahren, so dass insgesamt mehr Regenwasser in die Ostsee gelangt und diese dadurch aus" Süßt". Die Szenarien des Norddeutschen Klimaatlas gehen in der mittleren Variante von einer 5%-igen Zunahme der Jahresniederschläge bis zum Ende des Jahrhunderts aus. Im Winter und Frühling ist mit erhöhten, im Sommer jedoch mit deutlich geringeren Niederschlägen zu rechnen.

Tab. 2: Mögliche zukünftige Veränderungen der Monatsniederschläge im Vergleich zu heute. Nach www.norddeutscher.klimaatalas.de

Abweichungen der zukünftigen von den heutigen Monatsniederschlägen (Mittelwert 1961-1990) in mm	Frühling	Sommer	Herbst	Winter
2011 – 2040	6	0	6	15
2041 – 2070	16	-9	20	31
2071– 2100	13	-42	27	51

Durch die zunehmenden Niederschläge wird die Schichtung des Wasserkörpers der Ostsee verstärkt. Eine sommerliche Schichtung des Wasserkörpers ist typisch für die Ostsee. Diese beginnt in der Regel im Frühjahr mit der Erwärmung der Oberflächenschicht und verstärkt sich im Laufe des Jahres bis zum Einsetzen der Herbst-/Winterstürme immer weiter. Jeder zusätzliche Eintrag von Wasser mit geringem Salzgehalt verstärkt diese thermohaline Schichtung, was zu einem verminderten Austausch zwischen Oberflächenwasser und Tiefenwasser führt und die Sauerstoffversorgung des Meeresbodens reduziert.

Tab. 3: Mögliche Veränderungen des Salzgehaltes und der Wasserschichtungen der Ostsee auf Basis der Klimaszenarien nach www.norddeutscher.klimaatalas.de

	Temp.	Nieder-schlag	Wind	Sonnenein-strahlung	Meerwasser
Frühling	+	+	+ -	--	wärmer und süßer
Sommer	+	--	+ -	+ -	wärmer und salziger, Sprungschicht höher
Herbst	++	+ -	+ -	-	wärmer
Winter	++	+	+	---	wärmer, süßer, durchmischer

In den letzten Jahrzehnten zeichnete sich als Trend ab, dass starke Einstromereignisse aus der Nordsee, die kaltes, sauerstoffreiches und salzreiches Wasser über das Kattegat in die tieferen Schichten der Ostsee einbringen, seltener geworden sind. Kleinere Einstromereignisse werden jedoch weiterhin beobachtet, sodass das Tiefenwasser der westlichen Ostsee noch über den Nordseeestrom mit Sauerstoff versorgt wird (Umweltbundesamt 2009).

Höhere Niederschläge führen nicht nur zu einem geringeren Salzgehalt des Oberflächenwassers sondern auch zu einem erhöhten Oberflächenabfluss von Land und damit zu einem höheren Eintrag von Nährstoffen in die Ostsee. Diese Einträge treffen auf die ohnehin erhöhten Nährsalzkonzentrationen aus Haushaltsabwässern sowie landwirtschaftlichen und atmosphärischen Einträgen und verstärken die Eutrophierung der Ostsee.

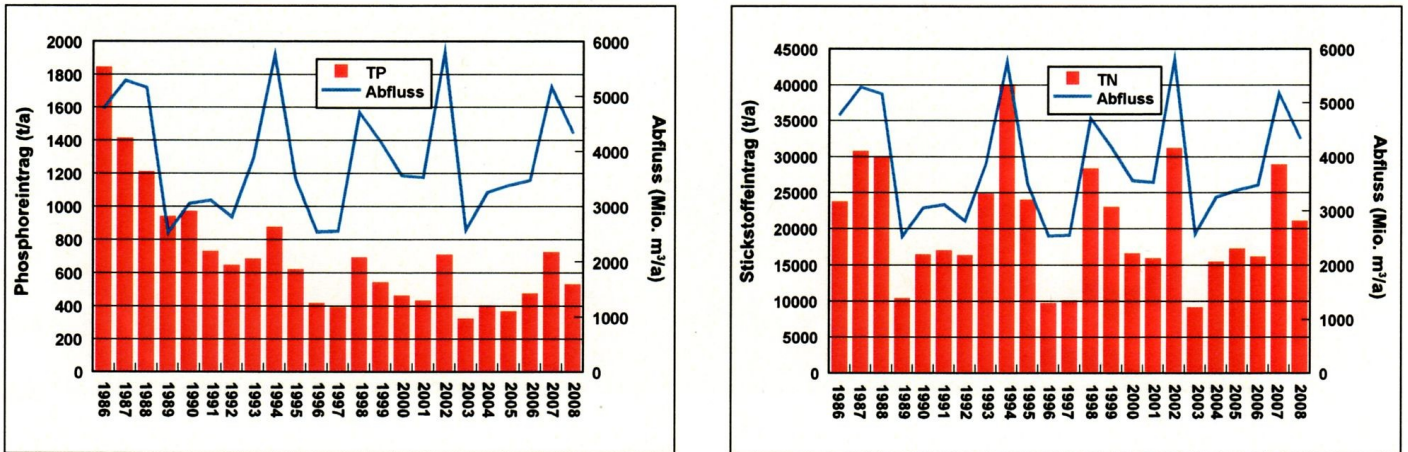


Abb. 4: Flussbürtige Phosphor- und Stickstoffeinträge in die deutschen Küstengewässer der Ostsee sowie die jährlichen Abflussmengen für den Zeitraum 1986 – 2008 aus Nausch et al. 2011. Die Stickstofffracht ist unmittelbar mit den Abflussmengen korreliert; die absoluten Mengen der Phosphoreinträge haben sich im Beobachtungszeitraum reduziert, das Eintragsmuster entspricht aber ersichtlich den Abflussraten.

2.4.1 Auswirkungen auf die Aquakultur

Abnehmender Salzgehalt ist vor allem für diejenigen Arten, die sich am Rande ihres natürlichen Verbreitungsgebietes befinden, problematisch. Dies betrifft z. B. den Zuckertang, dessen Salinitätsstress in der Ostsee sich in einer größeren Empfindlichkeit gegenüber hohen Temperaturen äußert. Miesmuscheln gedeihen unter 15 psu nicht mehr in wirtschaftlich lohnendem Maße.

Diese Grenze liegt gegenwärtig etwa bei Fehmarn und könnte bei weiterer Aussüßung weiter nach Nordwesten rücken.

Die von zunehmendem Niederschlag eingetragenen Nährstoffe sind als Dünger vorteilhaft für autotrophe Organismen (Makroalgen, Seegras, Phytoplankton), und sekundär für deren Nutznießer (filtrierende Organismen, Miesmuscheln, Austern). Makroalgen und Seegras aber leiden unter der abnehmenden Transparenz des Wassers.

psu (Practical Salinity Units) – dimensionslose Einheit für Salinität, die sich auf die elektrische Leitfähigkeit von Salzlösungen bezieht. Süßwasser weist eine Salinität von unter 1 psu auf, beim Brackwasser liegt die Salinität zwischen 1 und 10 psu, ab einer Salinität über 10 spricht man von Salz- (bzw. See-) wasser.

2.5 Wind

Für die gemäßigten bis höheren Breiten, also auch den Nord- und Ostseeraum, ist mit einer Zunahme der Luftdruckgegensätze zu rechnen. Nach derzeitigem Kenntnisstand ist in Zukunft im Winter mit häufigeren und stärkeren Winden zu rechnen (HELCOM 2007). Zudem gibt es Anzeichen für eine Zunahme der Westwinde. Dies bedeutet für west-exponierte Küsten eine verstärkte Erosion bzw. einen höheren Bedarf an Küstenschutzmaßnahmen. Erodieren nicht nur Kliffs und Strandbereiche sondern auch Muschelbänke und andere biologische Strukturen. In Verbindung mit dem höheren Ausgangsniveau des Meeresspiegels (vgl. 2.2) muss in der Zukunft mit deutlich höheren Schäden an Gebäuden und Anlagen gerechnet werden.

3 Veränderungen der Artenzusammensetzung und der Nahrungsbeziehungen in der Ostsee

Die Ostsee ist ein Brackwassermeer, also als ein Meer mit einem geringeren als dem normalen marinen Salzgehalt, der bei > 30 psu liegt. Der Salzgehalt der Ostsee nimmt von West nach Ost ab. In der Ostsee leben sowohl limnische als auch marine Arten, deren Verbreitungsgebiet durch ihre Salztoleranz definiert wird. Ob es überhaupt echte Brackwasserarten gibt ist umstritten. Diese werden (gemeinhin) dadurch charakterisiert, dass ihr Verbreitungsoptimum zwischen 2 und 15 psu liegt.

Das Brackwasser, dessen Salzkonzentration in Abhängigkeit vom Ein- und Ausstrom signifikant schwanken kann, stellt eine beträchtliche Anforderung an den Osmose- und Salzwasserhaushalt der Meeresorganismen dar. Vor diesem Hintergrund muss man damit rechnen, dass selbst geringe zusätzlichen Stressfaktoren (wie Temperaturschwankungen, Stratifikationen und Sauerstoffmangel) zu Veränderungen in der Artenzusammensetzung der Ostseeflora und -fauna führen werden.

3.1 Einwanderung neuer Arten

Die relativ geringe Anzahl einheimischer Arten macht die Ostsee besonders empfindlich gegenüber ökologischen Veränderungen durch die Einführung neuer Arten. Über invasive Arten der Ostsee existiert eine umfangreiche Literatur. Schories & Selig (2006) listen mehr als 110 nicht-indigene Arten für die Ostsee auf, die sich im Verlauf der letzten 100 Jahren in der Ostsee etabliert haben.

Die meisten invasiven Arten, z. B. die Wollhandkrabbe *Eriocheir sinensis*, der Polychät *Marenzelleria viridis* und die Rippenqualle *Mnemiopsis leidyi*, gelangten durch Ballastwasser oder durch Aufwuchs an Schiffsrümpfen in die Ostsee. Diese Tendenz verstärkte sich in den letzten Jahren und Jahrzehnten durch das erhöhte Transportaufkommen (Drake *et al.* 2007, Gollasch *et al.* 2002, Hülsmann & Galil 2002, Leppäkoski *et al.* 2002). Aber auch Fischereimaßnahmen und Aquakultur wurden mit der Proliferation nicht-indigener Arten in Zusammenhang gebracht, so z. B. bei der Ausbreitung der pazifischen Auster *Crassostrea gigas*.

Viele der neu angesiedelten Arten in der Ostsee kommen aus Regionen mit ähnlichen klimatischen Bedingungen, wie z. B. von den Küsten Nordamerikas (Nehring & Leuchs 2000). Zunehmend werden aber auch Arten aus wärmeren Klimaregionen bei uns dauerhaft sesshaft.

3.1.1 Auswirkungen auf die Aquakultur

Neu etablierte Arten bieten neben den ökologischen Risiken auch Chancen. Das gilt natürlich auch für die Aquakultur. Im Folgenden werden einige neu eingewanderte Arten mit besonderer Relevanz für die Aquakultur im Ostseeraum vorgestellt.

Der **Besentang** (*Gracilaria vermiculophylla*) stammt ursprünglich aus Ostasien, von wo er sich fast weltweit ausgebreitet hat. Inzwischen hat diese Rotalge die europäischen und nordamerikanischen (Pazifik- und Atlantik-) Küsten erreicht. Im Jahr 2005 wurde sie erstmalig in der west-

lichen Ostsee in der Kieler Förde gefunden. Der Besentang überwächst Bestände des natürlich vorkommenden Blasentangs, der eine wichtige ökologische Funktion im Flachwasser der westlichen Ostsee besitzt (Weinberger *et al.* 2008).

Die **Rippenqualle** (*Mnemiopsis leydii*) hat in der Ostsee (bisher) nicht die zunächst befürchteten Schäden als Konsument von Fischeiern hervorgerufen. Aufgrund der Erfahrungen nach der Einbürgerung dieser Art im Schwarzen Meer wurde die Rippenqualle als eine der „100 worst invaders“ nominiert, da sie Fischlarven dezimierte und sich als erhebliche Nahrungskonkurrenz für Jungfische darstellte (Jaspers *et al.* 2011).

Die **Ostasiatische Seescheide** (*Styela clava*) war ursprünglich im nordwestlichen Pazifik beheimatet. Ihre Ausbreitungsgeschichte ist bemerkenswert, und die ersten Nachweise seien hier kurz skizziert (nach Davis *et al.* 2007):

- 1953 in Plymouth, Devon, UK; wahrscheinlich eingeführt durch Kriegsschiffe, die aus dem Koreakrieg zurückkehrten
- 1968 in Dieppe, Frankreich
- Mitte der 1960er im Limfjord, Dänemark
- 1971 im Hafen von Cork, Irland
- 1974 in den Niederlanden
- 1986 in Belgien
- 1997 in Deutschland

Styela clava ruft als Fouling-Organismus Probleme auf Fischerei- und Aquakultur-Installationen hervor und ist bei Massenvorkommen ein Nahrungskonkurrent filtrierender Organismen. Massenbefall hat in dänischen Muschelfarmen dazu geführt dass Miesmuscheln zeitweise unverkäuflich waren.

Auch die **Zebramuschel** (oder **Wandermuschel**, *Dreissena polymorpha*) wurde in die Liste der „100 worst invaders“ aufgenommen. Sie kommt im Süßwasser und in der Ostsee bei Salzgehalten von bis zu 7 psu vor, so z. B. im Oderhaff. Die Zebramuschel könnte aufgrund ihrer hohen Dichten Nahrungsbeziehungen verändern (Birnbauer 2011), könnte auf künstlichen Substraten aber auch als „Biofilter“ zur Wasserreinigung eingesetzt werden.

Allerdings ist die Zebramuschel schon im 19. Jahrhundert vom Schwarzen Meer über die Donau zu uns gelangt und heimisch geworden.

Ein „Klassiker“ in der Einwanderungsgeschichte gebietsfremder Arten ist die Einwanderung der **Pazifischen Auster** (*Crassostrea gigas*). Ihr natürliches Verbreitungsgebiet sind die Küstengewässer von Japan und Süd-Ost-Asien. Die Verbreitung in Europa ist auf zweifache Weise mit der Aquakultur verknüpft: Einerseits erfolgte die Einbürgerung aktiv zum Zwecke der Aquakultur, andererseits ruft diese Art bedeutende Schäden an den Miesmuschelkulturen im Wattenmeer hervor. Die Einwanderungsgeschichte soll im Folgenden skizziert werden (nach Nehring 2006).

Schon im 19. Jahrhundert wurde - allerdings erfolglos - versucht, die zurückgehenden Bestände der europäischen Auster durch die Pazifische Auster zu ersetzen. 1964 importierten holländische Farmer Austernlarven aus British Columbia, Kanada. In den warmen Sommern von 1975 und 1976 kam es zur natürlichen Reproduktion in der Oosterschelde.

- Temperaturzunahme
- 1983 wurden die ersten Exemplare bei Texel gesichtet
- in den 1990er Jahren Verbreitung im holländischen Wattenmeer
- 1986 begann die Austernkultur auf Sylt, zunächst mit Saatmuscheln aus England und Irland
- 1991 wurden erste Austern außerhalb der Farm gefunden
- anschließend starker Larvenfall vor Sylt und Verbreitung der Auster im Nordfriesischen Wattenmeer
- seit 2003 ist das gesamte Wattenmeer besiedelt
- 2009 wurden erste frei lebende Pazifische Austern an der deutschen Ostseeküste gefunden

3.2 Plankton

Die Klimaänderungen führen auch zu Veränderungen der Planktongemeinschaften der Ostsee. Es gibt Hinweise darauf, dass gerade solche Algenarten, die giftige „Algenblüten“ hervorrufen können, von den veränderten Umweltbedingungen in besonderem Maße profitieren. Die Mehrheit der giftigen Algen gehört zur Gruppe der Dinoflagellaten (Smayda 1997), und diese Gruppe hat in der Ostsee auf Kosten anderer Planktongruppen (z. B. Diatomeen) zugenommen. Wasmund & Uhlig (2003) bringen diese Zunahme mit der erhöhten Temperatur der Meeresoberfläche in Verbindung. Zudem sind Dinoflagellaten besonders gut an geschichtete Wasserkörper angepasst (Margalef 1978, Edwards & Richardson 2004).

Ein aufschlussreiches Experiment wurde am Kieler GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel (Sommer *et al.* 2007) durchgeführt, welches die Konsequenzen von veränderten Temperaturbedingungen für die Sukzession der Planktongemeinschaft deutlich macht. Dabei wurden zwei Mesokosmen mit gleicher Ausgangssituation hinsichtlich der Zusammensetzung der Artengemeinschaft miteinander verglichen. In einem Fall wurden die natürlichen Licht- und Temperaturbedingungen eingestellt, im anderen die Temperatur um 6° C erhöht.

Die erhöhte Temperatur führte zunächst erwartungsgemäß zu höheren Abundanzen der Phytoplankton-Arten bereits zu Beginn des Jahres. Noch viel früher und unerwartet waren allerdings auch die Fraßfeinde des Phytoplanktons bereits entwickelt und aktiv. Sie sorgten für einen verfrühten Zusammenbruch der Phytoplankton-Population bereits im Februar, ein Phänomen, welches unter natürlichen Bedingungen im April nach Erschöpfung der oberflächennahen gelösten Nährstoffe eintritt. In einer solchen Situation steht das Phytoplankton anderen Konsumenten, z. B. Miesmuscheln, in geringerem Maße zur Verfügung. Eine Verifizierung dieser experimentellen Befunde im Freiland steht derzeit noch aus. Das Experiment zeigt aber eindrucksvoll, welche Sekundärfolgen durch Veränderung der Temperaturmuster eintreten können.

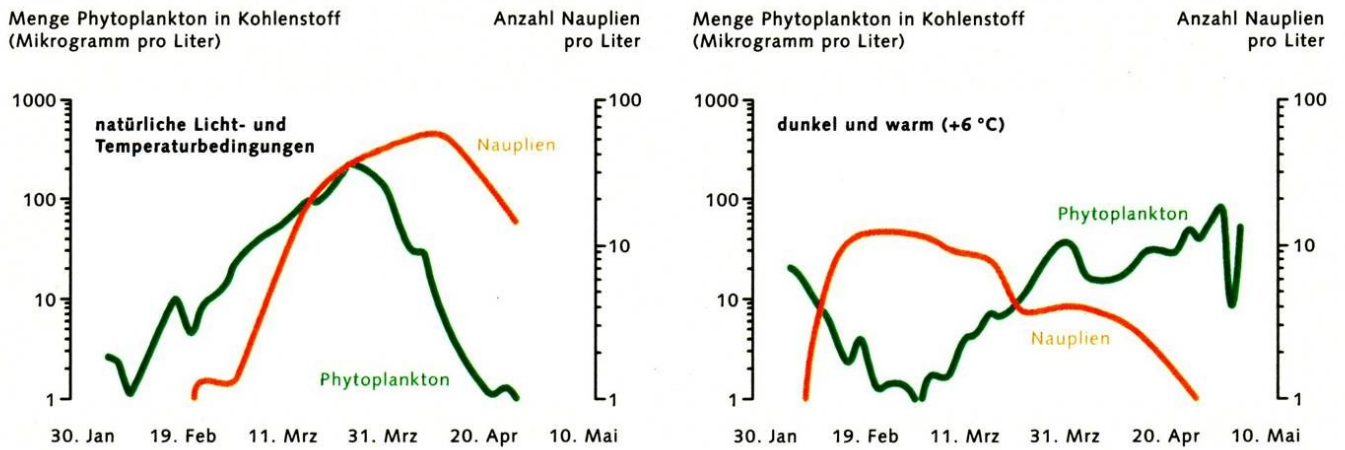


Abb. 5: Veränderte Nahrungsbeziehungen bei simulierten Klimawandelbedingungen. Aus World Ocean Report, nach Sommer *et al.* 2007.

4 Arten für die Aquakultur in der westlichen Ostsee

Aquakultur – die kontrollierte Aufzucht von im Wasser lebenden Organismen – birgt erhebliche Potentiale für eine nachhaltige Weiterentwicklung der Fischereiwirtschaft. Neben anderen Faktoren wird in Zukunft auch der Klimawandel die Rahmenbedingungen für diesen Wirtschaftszweig beeinflussen. Dabei kann die Klimaänderung neben Risiken durchaus auch Chancen bieten, die sich gezielt zur Erweiterung des Artenspektrums und zur Produktivitätssteigerung der kultivierten Arten nutzen lassen. Im Rahmen des RADOST-Anwendungsprojektes „Zukunftsstrategien für die Aquakultur – Fokusgebiet Kieler Bucht“ wurde untersucht, in welcher Weise der Klimawandel das Spektrum von Arten, die für die Aquakultur in Frage kommen, verändern könnte. Für marine Organismen sind vor allem die durch den Klimawandel ausgelösten Veränderungen der Temperatur und des Salzgehalts sowie die zunehmende Versauerung des Meerwassers ausschlaggebend.

Die durchschnittliche Oberflächentemperatur der Ostsee hat sich im Zeitraum von 1995 bis 2005 um 0,8 °C erhöht, was sich u. a. in einer verminderten Anzahl von Frosttagen widerspiegelt (Umweltbundesamt 2009). Als wahrscheinliches Szenarium für den deutschen Küstenraum galt bisher eine Erhöhung der mittleren Jahrestemperatur um 1,5 bis 3,0 °C in den nächsten 100 Jahren, wobei man bisher von überproportionalen Temperaturanstiegen im Winterhalbjahr ausging.

Neue Erkenntnisse belegen jedoch einen Zusammenhang zwischen globaler Erwärmung und kälteren Wintern in Europa. Es wird angenommen, dass schrumpfende Eismengen in der östlichen Arktis zu Veränderungen der Luftzirkulation führen, was die Wahrscheinlichkeit des Auftretens extrem kalter Winter in Europa und Nordasien verdreifachen könnte (Petoukhov & Semenov 2010).

Die Gesamtmenge der jährlichen **Niederschläge** in der deutschen Ostseeregion erhöhte sich in den vergangenen Jahren, so dass mehr Regenwasser in die Ostsee gelangt und diese dadurch aus „süß“. Dies deckt sich mit den Szenarien des Norddeutschen Klimaatlas (www.norddeutscher-klimaatlas.de), der in einer mittleren Variante bis zum Ende des Jahrhunderts von einer 5%-igen Zunahme der Jahresniederschläge ausgeht, wobei im Winter und Frühling mit erhöhten und im Sommer mit deutlich geringeren Niederschlägen zu rechnen ist (vgl. Tab. 2). Ein nachlassender Einstrom von kaltem, sauerstoff- und salzreichem Wasser aus der Nordsee über das Kattegat in die Ostsee verstärkt diesen Trend.

Im Wasser gelöstes **Kohlendioxid** (CO₂) trägt zu einer Absenkung des pH-Wertes bei. Die Versauerung im Küstenbereich der Ostsee ist bereits heute messbar: und ist 0,1 logarithmische Skalenteile (pH-Einheiten) niedriger als zu vorindustriellen Zeiten. Bei unverändert ansteigenden CO₂-Emissionen würde der Wert um weitere 0,4 Einheiten bis zum Jahr 2100 absinken, was eine weitere Versauerung und Reduzierung der Karbonationenkonzentration im Meerwasser bedeuten würde. Korallen, Muscheln und Schnecken, aber auch planktische Kalkbildner (z. B. Kalkalgen), reagieren darauf mit verminderter Kalkbildung und Fehlbildungen (http://www.futureocean.org/de/cluster/ueberblick/A1_ozeanversauerung.php, Zugriff am 03.04.2014).

Für Tiere und Pflanzen in Aquakultur bedeutet dies, dass nicht alleine mit einer Verschiebung des Temperaturgefüges in einen höheren Bereich sondern auch mit einer größeren Spreizung des gesamten Temperaturspektrums gerechnet werden muss. Das potentielle Artenspektrum für die „open-water“-Aquakultur (Aquakultur im offenen Gewässer) in der westlichen Ostsee

wird dadurch eingeschränkt. Die zukunftsfähigen Arten müssen einen Temperaturbereich von - 2 bis über +20°C, einen schwankenden und tendenziell abnehmenden Salzgehalt sowie zunehmend saureres Wasser verkraften.

Selbstverständlich ist das Marktpotential für die Auswahl von Organismen für die Aquakultur ebenso ausschlaggebend. Bei gemeinsamer Betrachtung aller Faktoren ergibt sich derzeit folgender, in Tabelle 4 zusammengestellter Überblick über die Kandidaten für eine open-water Aquakultur im deutschen Ostseeraum.

Tab. 4: Gegenwärtig kultivierte Organismen und Arten mit Zukunftspotential in der marinen open-water Aquakultur an der deutschen Ostseeküste

Gruppe	derzeit	in Zukunft	in fernerer Zukunft
Algen	Zuckertang (<i>Saccharina latissima</i>) Blutroter Meerampfer (<i>Delesseria sanguinea</i>)	Blasentang (<i>Fucus vesiculosus</i>) Besentang (<i>Gracilaria vermiculophylla</i>)	
Schwämme			Brotkrumenschwamm (<i>Halichondria panicea</i>)
Mollusken	Miesmuschel (<i>Mytilus edulis</i>)	Miesmuschel (<i>Mytilus edulis</i>)	
Crustaceen			Wollhandkrabbe (<i>Eriocheir sinensis</i>)
Stachelhäuter			Seestern (<i>Asterias rubens</i>)
Tunikaten			Seescheide (<i>Ciona intestinalis</i>)
Fische	Regenbogenforelle (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	Meeräsche (<i>Chelon labrosus</i>)	Wolfsbarsch (<i>Dicentrarchus labrax</i>) Dorade (<i>Sparus aurata</i>)

Derzeit werden nur wenige Arten in der Ostsee kultiviert: **Zuckertang** (*Saccharina latissima*), **Miesmuschel** (*Mytilus edulis*, zur Taxonomie vgl. Kap. 4.1.3), **Regenbogenforelle** (*Oncorhynchus mykiss*), sowie im Experimentalstadium **Meerampfer** (*Delesseria sanguinea*).

In Zukunft könnten möglicherweise auch **Blasentang** (*Fucus vesiculosus*), **Besentang** (*Gracilaria vermiculophylla*) und **Meeräsche** (*Chelon labrosus*) in Kultur genommen werden.

In einer ferneren Zukunft können weitere Arten in den Fokus genommen werden, wie der **Brotkrumenschwamm** (*Halichondria panicea*) mit seinen medizinisch interessanten Inhaltsstoffen, die **Wollhandkrabbe** (*Eriocheir sinensis*), die sich als eingewanderte Art bei uns verbreitet hat und nicht nur in der ostasiatische Community gerne gegessen wird, der **Gemeine Seeestern** (*Asterias rubens*) dank seiner interessanten Fettsäuren oder die **Schlauchseescheide** (*Ciona intestinalis*) die ebenfalls in Medizin oder Kosmetik Verwendung finden könnte. Die Mittelmeertifischarten **Wolfsbarsch** (*Dicentrarchus labrax*) und **Dorado** (*Sparus aurata*) kommen mit den derzeitigen Wintertemperaturen der Ostsee nicht zurecht. Bei weiter ansteigenden Temperaturen können sie vielleicht einmal, evtl. unter Nutzung von Kühlwassereinleitungen oder ähnlichem, auch bei uns kultiviert werden.

4.1 Derzeit in der Ostsee kultivierte Arten

4.1.1 Zuckertang (*Saccharina latissima*)



Abb. 6: Zuckertang (*Saccharina latissima*). Foto CRM.

Merkmale

Der Zuckertang ist eine große, schnellwüchsige Braunalge mit einer Blattlänge von bis zu 2 m.

Lebensraum

Zuckertang kommt natürlicherweise im Nordatlantik vor und in der Ostsee etwa bis Rügen bzw. Bornholm; weiter östlich wird der Salzgehalt zu niedrig. Die Alge benötigt Festsubstrate zur Ansiedlung (z. B. Steine), gedeiht in Kultur aber auch an Seilen oder Netzen. In Abhängigkeit von der Transparenz des Meerwassers kommt sie in Nord- und Ostsee in Tiefen bis ca. 15 m vor.

Sie verträgt in der Nordsee Wassertemperaturen bis 21°C, in der westlichen Ostsee bis ca. 17°C.

Aquakultur

Zuckertang ist der „Klassiker“ in der Algenkultur wird derzeit von einigen Farmern kultiviert. Von der verwandten Alge *Saccharina japonica* (früher *Laminaria japonica*) werden in Ostasien ca. 3.000.000 t (Frischgewicht) pro Jahr in Farmen erzeugt. Bei uns wird überwiegend *Saccharina latissima* kultiviert, die gute Erträge erzielt. Zuckertang wird in der Kieler Förde, vor Sylt und in dänischen Gewässern kultiviert, in Frankreich und Norwegen aus Wildbeständen geerntet.

Die Kultur des Zuckertangs in der Kieler Förde erfolgt in 2 Phasen: einer Laborphase und einer Freilandphase.

Die Mutteralgen für die Sporulation werden im Herbst (September bis Oktober) im Freiland gesammelt, wenn sie Sori (d. h. Gewebebereiche mit Zoosporen) aufweisen, was an der dunklen Ausprägung des Gewebes erkennbar ist. Die Phylloide werden oberhalb des Meristems (Wachstumszone) abgeschnitten, damit die Pflanze anschließend weiter wachsen kann.

Die Blattstücke werden dann thermisch und mechanisch behandelt, wodurch die Sporulation, also das Freisetzen der Zoosporen aus dem Sorusgewebe, erreicht wird. Die Zoosporensuspension wird über die Kultursubstrate gegossen. Als solche haben sich geflochtene 6 mm Polypropylen-Leinen bewährt, die auf rotierende Spindeln gewickelt und in Seewassertanks untergebracht sind.

Nach 6 bis 8 Wochen Kultivierung in den Tanks werden die Kulturleinen ins Freiland verbracht. Die Laminarien-Pflänzchen sollten dann mit bloßem Auge erkennbar sein (3-5 mm groß). Eine Woche vor dem Ausbringen wird die Wassertemperatur in der Hälterungsanlage der im Freiland angelegten (1-2°C pro Tag), um einen Temperaturschock beim Ausbringen der empfindlichen Jungalgen zu vermeiden.

Die Kulturleinen hängen V-förmig von Langleinen herab, bis in eine maximale Tiefe von 2,50 m. Die Ernte erfolgt dann, wenn die Wassertemperaturen 17°C erreichen, also etwa im Juni.

Klimawandel

Der Zuckertang befindet sich in der westlichen Ostsee wegen des niedrigen Salzgehaltes an seiner Verbreitungsgrenze und zeigt sich gerade hier sehr empfindlich gegenüber höheren Wassertemperaturen. Oberhalb von 17°C stellt er das Wachstum ein, über 21°C stirbt er ab. Da zu erwarten ist, dass die Wassertemperaturen im Sommer zunehmen, ist mit einem weiteren Rückzug in tiefere Wasserschichten unter der Sprungschicht zu rechnen. Dort ist er schwerer zu kultivieren, außerdem ist die Lichtintensität im tieferen Wasser geringer.

Abbildung 7 zeigt eine Projektion sommerlicher Höchsttemperaturen des norddeutschen Klimaatlas (www.norddeutscher-klimaatlas.de) für die Zeitabschnitte 2011-2040, 2041-2070 und 2071-2100 (vgl. Kap. 2.1). Die Temperaturszenarien (Erhöhung der Sommertemperatur) wurden den in den Jahren 1986 bis 2011 von der BSH gemessenen Maximaltemperaturen hinzuaddiert. Die rote Linie zeigt die für den Zuckertang letale Temperatur von 21°C an, und es ist zu erkennen, dass dieser kritische Wert fast alljährlich erreicht werden wird. Damit wäre die Kultur des Zuckertangs in der Ostsee in Zukunft nicht mehr möglich.

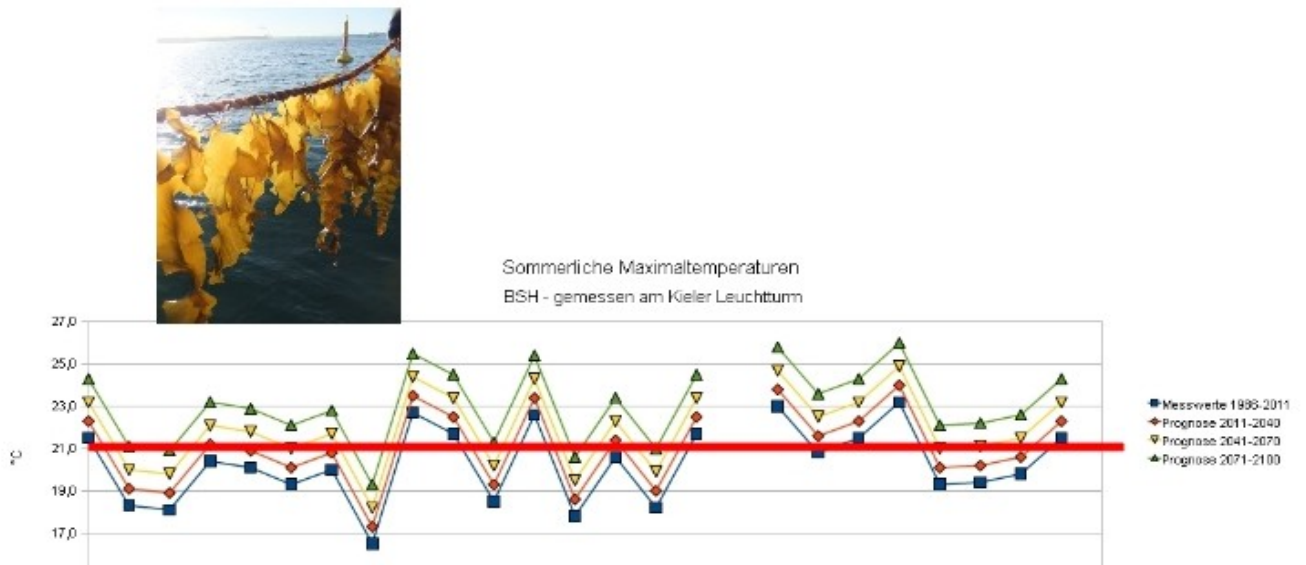


Abb. 7: Projektionen sommerlicher Höchsttemperaturen im Meerwasser für die Zeitabschnitte des Norddeutschen Klimaatlas. Die rote Linie stellt die Letaltemperatur für den Zuckertang dar.

Möglicherweise lassen sich die Auswirkungen für die Kultivierung des Zuckertangs durch den Einsatz von geeigneten Techniken (Absenken bzw. Aufholen je nach Temperatur etc.) noch abmildern. Es stellt sich aber die Frage, ob der Aufwand den zu erzielenden Ertrag rechtfertigt.

Nutzung und Vermarktung

Zuckertang wird in der Ostsee zur Nährstoff-Retention an Fischfarmen (Dänemark) und zur Produktion von Extrakten für die Kosmetikindustrie (Deutschland) angebaut. In geringem Umfang wird er auch als Lebensmittel verwendet, die konsumierte Menge ist aber aufgrund des relativ hohen Jodgehaltes begrenzt. Für frischen Zuckertang aus europäischer Produktion werden derzeit ca. 4-5 € / kg gezahlt.

Weiterführende Information

Krost, P.; Rehm, S.; Kock, M.; Piker, L. (2011): Leitfaden für die nachhaltige marine Aquakultur. CRM. 64 S.

Lüning, Klaus (1990): Seaweeds: Their Environment, Biogeography, and Ecophysiology. Wiley. 544 S.

http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Laminaria_japonica/en

4.1.2 Meerampfer (*Delesseria sanguinea*)

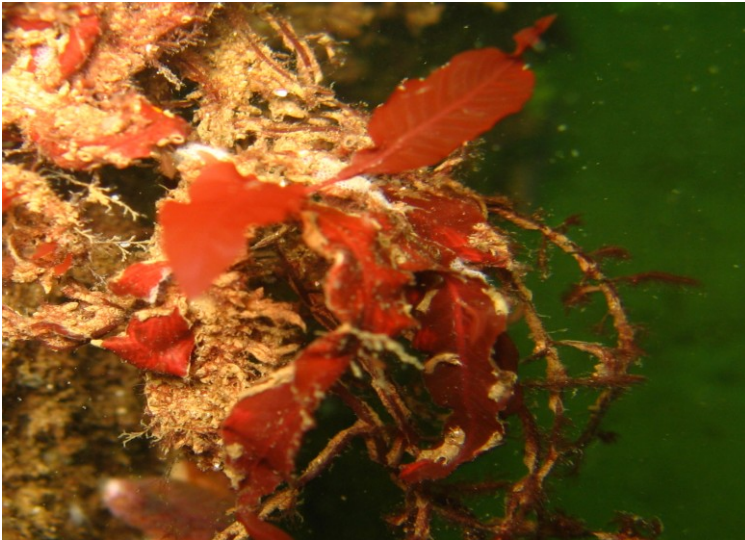


Abb. 8: Meerampfer (*Delesseria sanguinea*). Foto: CRM

Merkmale

Der Blutrote Meerampfer hat zarte, blattförmige Phylloide mit kurzen, runden Stielen. Die Färbung variiert von rot bis rosa. Der Meerampfer ist mehrjährig. Überwinterungsorgane sind die Mittelrippen, aus denen im Frühjahr zahlreiche schmale Blättchen hervor wachsen (Kornmann & Sahling 1983).

Lebensraum

Der Meerampfer kommt an allen Küsten der britischen Inseln und der Bretagne, in der Nordsee und in der Ostsee bis etwa Bornholm / Rügen vor. Er besiedelt das untere Eulitoral bis zum Sublitoral bis etwa 30 m Tiefe auf Hartsubstrat (Felsen, Steine etc.).

Aquakultur

Versuche zur Kultivierung von Meerampfer werden in jüngerer Zeit im Rahmen des Projekts Nienhagener Riff (www.riff-nienhagen.de) durchgeführt. Ansonsten sind aus unserer Region keine weiteren Vorhaben oder Erfahrungen mit der Kultivierung des Blutroten Meerampfers bekannt.

Nutzung und Vermarktung

Der Marktwert von Meerampfer beträgt 9,61 €/kg (www.riff-nienhagen.de). Verwendung findet der Meerampfer z. B. in Kosmetika.

Weiterführende Information

www.algaebase.org

LFA Abschlussbericht Algen 2012, 27 S. (http://www.riff-nienhagen.de/pdf/jahresberichte_2012/LFA_Abschlussbericht_ALGEN_2012.pdf)

4.1.3 Miesmuschel (*Mytilus edulis* L.)



Abb. 9: Miesmuscheln (*Mytilus edulis* L.) in Hängekultur in der Kieler Förde. Foto: CRM.

Merkmale

Miesmuscheln werden bis zu 10 cm lang. Die blau-violett bis schwarz gefärbten Muscheln besiedeln die Oberfläche von Festsubstraten und ernähren sich filtrierend.

Nach neueren genetischen Untersuchungen des GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel (Breusing 2012) handelt es sich bei den in der westlichen und südlichen Ostsee beheimateten Miesmuschelpopulationen teilweise um Hybridpopulationen mit *Mytilus trossulus* und zu einem geringen Anteil auch *Mytilus galloprovincialis*. Morphologisch lassen sich diese jedoch nicht von reinen Populationen von *Mytilus edulis* unterscheiden, so dass hier zur Vereinfachung der Artname *Mytilus edulis* für den Hybridkomplex verwendet wird.

Lebensraum

Das Verbreitungsgebiet der Miesmuschel erstreckt sich über einen großen Teil der europäischen Küstengewässer, vom weißen Meer in Russland bis zur Atlantikküste Südfrankreichs. Miesmuscheln leben im Gezeitenbereich in einer Wassertiefe von bis zu ca. 40 m, auch in Hafenanlagen.

Miesmuscheln heften sich mit Hilfe ihrer Byssus-Klebfäden an harten Substraten fest, z. B. an Steinen, Spundwänden, auf hartem Sand etc. Häufig bilden sie Muschelbänke und erreichen dort enorme Bestandsdichten.

Miesmuscheln sind euryhalin; sie vertragen Salinitäten von 4-35 psu. Unterhalb von 15 psu lässt das Wachstum bereits deutlich nach.

Aquakultur

Die Miesmuschel kann in Bodenkultur oder in Hängekultur (Langleinenkultur) gezogen werden. Ein großer Teil der europäischen Muschelproduktion stammt aus Hängekultur, da in Spanien fast ausschließlich diese Kulturform (Langleinen an Flößen hängend) durchgeführt wird. Spanien hat einen Anteil von ca. 45% an der europäischen Muschelproduktion (ca. 250.000 t/J von insgesamt ca. 550.000 t/J EU-weit). Der höhere Arbeitsaufwand gegenüber Bodenkulturen wird durch bessere Qualität (d. h. schnelleres Wachstum, geringere Schadstoffbelastung, kaum Sandanteil) kompensiert. Derzeit wird in Nordeuropa noch der größte Teil der Miesmuscheln vom Boden gefischt, jedoch geht der Trend auch hier in Richtung von Langleinenkulturen, nicht zuletzt, da Bodenkulturen – und im Besonderen das Abernten derselben – im Gegensatz zur Langleinenkultur einen störenden bis zerstörerischen Einfluss auf den Lebensraum Meeresboden ausüben.

Futter / Ernährung

Miesmuscheln bedürfen keiner zusätzlichen Fütterung Sie ernähren sich aus dem natürlich vorkommenden Planktonangebot und wirken damit der Eutrophierung entgegen.

Nutzung und Vermarktung

Muscheln werden frisch, gefroren oder konserviert als Lebensmittel gehandelt. In der EU beträgt die angelandete Menge ca. 550.000 t/J, in Deutschland beträgt sie derzeit ca. 10.000 t/J, ist aber wegen ausbleibender natürlicher Verjüngung in der Nordsee derzeit rückläufig.

Klimawandel

Miesmuscheln haben sich im Experiment als robust erwiesen sowohl gegenüber steigenden Wassertemperaturen und schwankender Salinität (Brenko & Calabrese 1969) als auch gegenüber sinkendem pH-Wert (Thomsen *et al.* 2013, vgl. Kap. 2.3).

Die Verhältnisse im Freiwasser können in einem Laborexperiment nicht erschöpfend simuliert werden, weshalb bei CRM Kiel eine Studie zu den Auswirkungen geänderter Temperaturen auf das Potenzial der Muschelkultur unter Freilandbedingungen in der Kieler Förde durchgeführt wurde. Zur Simulation veränderter Klimabedingungen diente die Kühlwassereinleitung des örtlichen Kraftwerks (Gemeinschafts-Kraftwerk Kiel, GKK, Gesamtleistung 354 MW/J, Brennstoff / Erzeugungsart: Steinkohle; Produkte: Elektrizität und Fernwärme; Baujahr:1970). Die im Einflussbereich des Kühlwasserauslasses am Ostufer der Kieler Förde gelegene Regenbogenforellenfarm der Firma „Kieler Lachsforelle“ wurde als Vergleichsstandort zur Algen- und Muschelfarm von CRM am Westufer der Kieler Förde genutzt. Die Wassertemperaturen wurden an beiden Standorten in mehreren Wassertiefen kontinuierlich gemessen. Der Standort Kraftwerk weist durchweg höhere Wassertemperaturen auf als der Standort Muschelfarm.

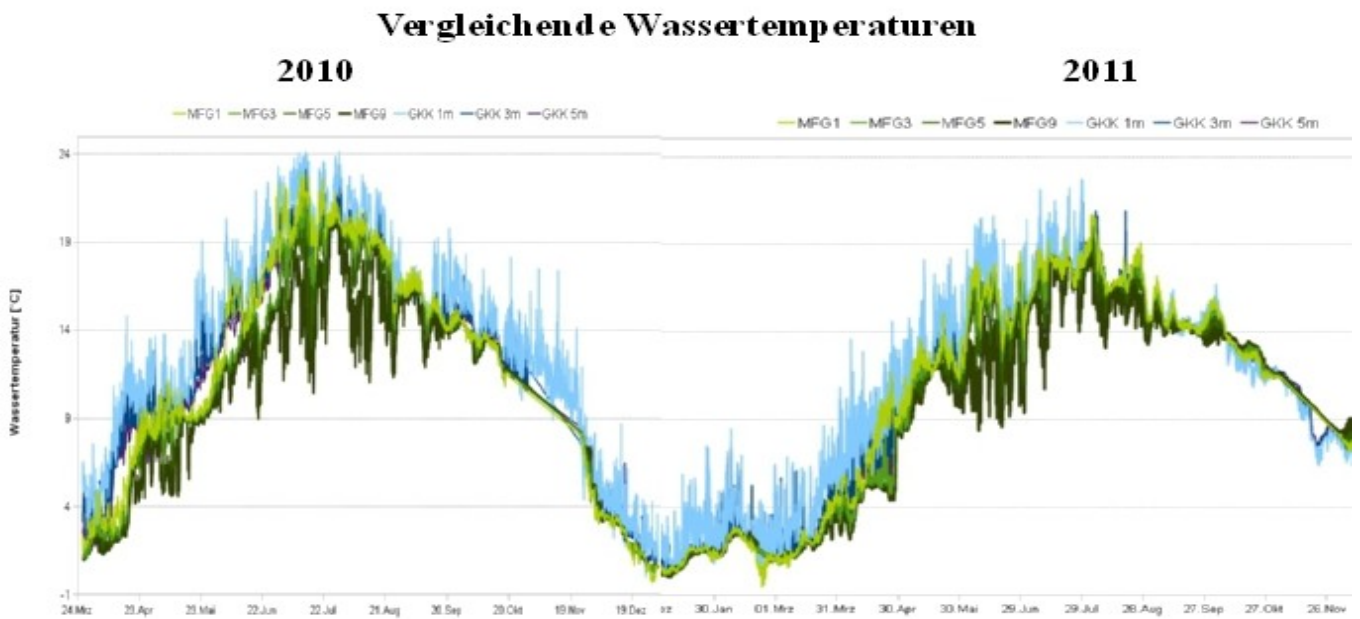


Abb. 10: Jahresgang der Temperaturen am Gemeinschaftskraftwerk Kiel und an der Muschelfarm 2010-2011. CRM.

Abbildung 10 zeigt einen Vergleich der Wassertemperaturen an beiden Standorten im Jahresgang der Jahre 2010 und 2011. Deutlich zu erkennen sind die durchschnittlich höheren Temperaturen am Standort Kraftwerk im Vergleich zu denen am etwa 3 km entfernten Standort der Muschelfarm von CRM (Geräteausfall Ende Oktober bis Mitte November 2010).

Gemessen wurde in 1 m, 3 m, 5 m und – am Standort Muschelfarm – auch in 9 m Wassertiefe. Die mittleren Temperaturdifferenzen zwischen den beiden Standorten gehen aus Tabelle 5 hervor.

Tab. 5: Temperaturdifferenzen in unterschiedlichen Wassertiefen zwischen den Standorten Muschelfarm und Kraftwerk

Wassertiefe	Differenz
1 m	1,82°C
3 m	1,49°C
5 m	1,36°C

An beiden Standorten wurden identische Muschelmodule ausgebracht und das Wachstum der Muscheln verfolgt. Als Parameter für das Wachstum wurde der Zuwachs der Schalenlängen gemessen. Der Wachstumsverlauf der Miesmuscheln erfolgte an beiden Standorten annähernd identisch (Abb. 11). Die Schalenlängen waren am wärmeren Standort regelmäßig etwas geringer, wobei der Unterschied nicht signifikant ist.

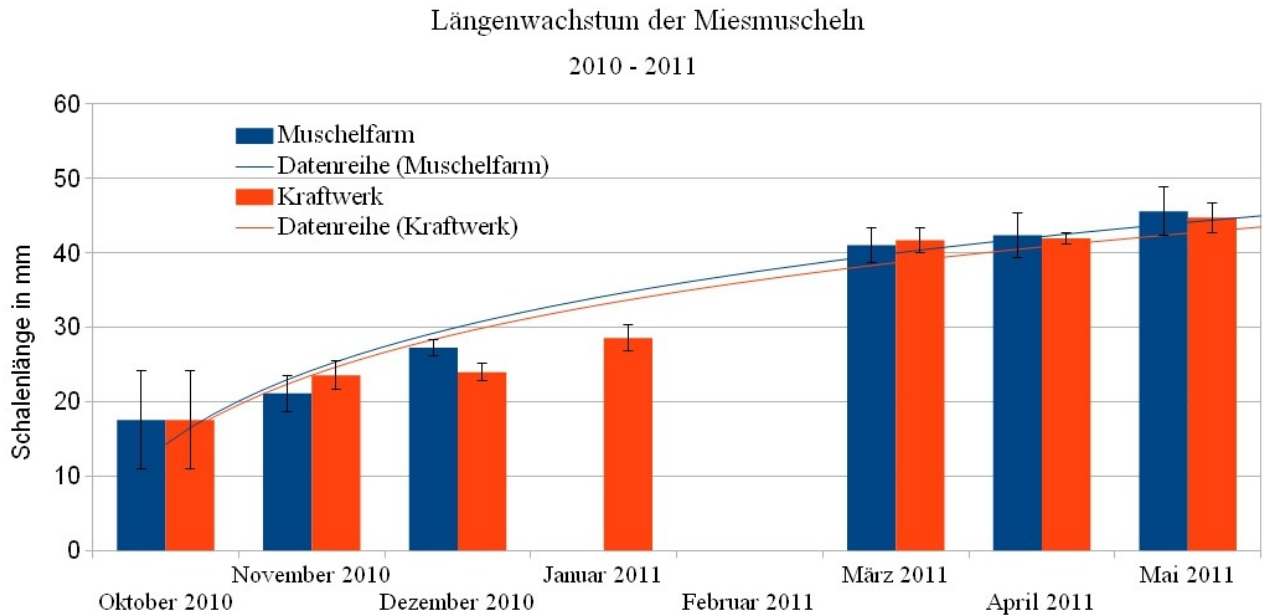


Abb. 11: Längenwachstum der Miesmuscheln an den Standorten Muschelfarm und Kraftwerk von Oktober 2010 bis Mai 2011. CRM.

Es wurde bereits in Kap. 2.3 darauf hingewiesen, dass zukünftig eine weitere Versauerung der Ozeane zu erwarten ist. Die Kieler Innenförde ist für diese zu erwartenden Zustände gewissermaßen ein Testgebiet, da dort schon heute aufgrund der besonderen hydrografischen Bedingungen hohe CO_2 -Konzentrationen und niedrige pH-Werte von bis hinab zu 7,7 gemessen werden.

Dennoch wachsen Miesmuscheln unter diesen Bedingungen sehr gut, sogar besser als in weniger sauren, aber dafür nährstoffärmeren Bereichen in der Kieler Außenförde. Die Wissenschaftler vom GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel schließen daraus, dass ein ausreichend hohes Nahrungsangebot die Nachteile der Versauerung im Falle der Miesmuschel in einem gewissen Bereich kompensieren kann. (Thomsen *et al.* 2013).

Weiterführende Information

Krost, P.; Kock, M.; Rehm, S.; Piker, L. (2011): Leitfaden für die nachhaltige marine Aquakultur. CRM. 64 S.

Thomsen, J.; Casties, I.; Pansch, C.; Melzner, F. (2013): Food availability outweighs ocean acidification effects in juvenile *Mytilus edulis*: laboratory and field experiments. *Global Change Biology* 19: 1017-1027.

4.1.4 Regenbogenforelle (Lachsforelle, *Oncorhynchus mykiss*)



Abb. 12: Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*) aus Aquakultur des Fischzuchtunternehmens „Kieler Lachsforelle“. Foto: T. Jäger-Kleinicke.

Merkmale

Regenbogenforellen werden bis zu 80 cm lang und 10 kg schwer. Entlang der Seiten ist ein rötlicher Streifen erkennbar, insbesondere bei jüngeren Männchen in der Laichzeit. Die Regenbogenforelle ähnelt mit ihrem ausgeprägten Muster von schwarzen Punkten der einheimischen Bachforelle, hat aber einen kleineren und spitzeren Kopf mit einem weiter hinten liegenden Unterkiefer. Die Bezeichnung Lachsforelle ist ein Handelsname, der Forellen aus Brackwasser-Aquakultur bezeichnet, deren Fleisch bei geeigneter Ernährung / Fütterung eine „Lachsfärbung“ annimmt.

Lebensraum

Die Regenbogenforelle ist eine Süßwasserart aus dem Nordwesten der USA und Südwesten Kanadas. Sie wurde 1882 in Europa eingeführt und hat seither die Flüsse und Seen erobert. Sie ist in der Lage, auch im Brackwasser zu wachsen, was sie für die Aquakultur in der westlichen Ostsee attraktiv macht.

Aquakultur

In der Ostsee ist die Regenbogenforelle die dominierende Fischart in der Aquakultur. In Dänemark werden ca. 12.000 t/J Regenbogenforellen in Netzkäfigen gezogen, in Deutschland existieren nur zwei kleine Farmen mit je ca. 10 t Jahresproduktion, je eine in Schleswig-Holstein und in Mecklenburg-Vorpommern.

Futter / Ernährung

Die natürliche Nahrung der Regenbogenforelle besteht aus Insekten, kleinen Fischen, Würmern, Kaulquappen und Krebstieren. Insekten werden sowohl unter Wasser (Larven) als auch über und an der Wasseroberfläche gejagt. In der Aquakultur werden Regenbogenforellen mit Futterpellets ernährt.

Nutzung und Vermarktung

Regenbogenforellen werden ganz oder filetiert verkauft, als Frischware, geräuchert, oder mariniert. Auch die Eier (Rogen) werden als „Kaviar“ verkauft. Schlachtabfälle werden für Fischfutter verwendet. Die in Küstengewässern gehaltenen „Lachsforellen“ können weit über die übliche Portionsgröße von 300 – 400 g herauswachsen, und ein Gewicht bis zu 5 kg erreichen.

Klimawandel

Die Lachsforelle verträgt Wassertemperaturen bis etwa 25°C und ist damit besser als ihre einheimische Schwester, die Meerforelle (*Salmo trutta*), an die zu erwartenden höheren Wassertemperaturen angepasst. Problematisch in der Aquakultur ist allerdings der mit den höheren Wassertemperaturen einhergehende erhöhte Sauerstoffbedarf der Tiere, der dann mitunter nicht mehr gedeckt werden kann. In diesem Fall kann künstliche Belüftung eingesetzt werden.

Weiterführende Information

Es existiert eine umfangreiche Literatur, die über die hier genannten Internetseiten erschlossen werden kann:

Regenbogenforelle auf www.fishbase.org (englisch)

FAO, Cultured Aquatic Species Information Programme

http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oncorhynchus_mykiss/en

4.2 Zukünftige Arten

4.2.1 Blasentang (*Fucus vesiculosus* L.)



Abb. 13: Blasentang (*Fucus vesiculosus*) in der Kieler Förde. Foto: CRM.

Merkmale

Fucus vesiculosus ist eine mehrjährige Braunalge und wird ca. 10-30 cm lang. An der Basis ist sie mittels einer Haftplatte mit festem Untergrund (Steine, Muschelschalen, Holzpfähle etc.) verbunden. Der braungrüne abgeflachte Thallus ist in einer Ebene gabelig verzweigt. Die nennengebenden Gasblasen sind beidseitig der Mittelrippe paarig angeordnet und stehen in den Gabelungen einzeln. Sie verleihen der Alge Auftrieb im Wasser.

Lebensraum

Der Blasentang kommt an den flachen Küsten des Nordatlantiks, der Nordsee und der Ostsee vor. Auch der Gezeitenbereich kann besiedelt werden, da eine Schleimschicht den Blasentang bei Trockenfallen vor Austrocknung schützt. Er verträgt auch hohe Temperaturen und niedrige Salzgehalte bis etwa 4 psu.

Aquakultur

Derzeit wird der Blasentang nirgendwo auf der Welt kultiviert. Eine künstlich induzierte Vermehrung ist dadurch erschwert, dass der Blasentang – anders als z. B. der Zuckertang – nicht über beweglichen Fortpflanzungsstadien verfügt. Dennoch werden derzeit erfolgversprechende Versuche durchgeführt, den Blasentang auf künstlichen Substraten anzusiedeln (GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel; CRM, Kiel; LLUR, Flintbek). Als heimische Art mit sehr interessanten Inhaltsstoffen ist der Blasentang ein aussichtsreicher Kandidat für die zukünftige Aquakultur in der Ostsee.

Nutzung und Vermarktung

Zu den Inhaltsstoffen des Blasentangs, die für Ernährung und Gesundheit eine Bedeutung haben könnten, gehören u. a. Jod, Brom, Beta-Carotin, Alginsäure, Polyphenole mit antibiotischer Wirkung, Xanthophylle (Fucoxanthin), Polysaccharide und pektinartige Schleimstoffe. Für den Schleimstoff Fucoïdan wurde eine immunstimulierende Wirkung bei Krebs nachgewiesen (Maruyama *et al.* 2006). Außerdem besitzt der Blasentang einen hohen Gehalt an Mineralstoffen und Spurenelementen.

Der Blasentang wird zur Gewinnung von Alginaten, sowie in manchen Regionen zur Herstellung von Seetang-Extrakt für Kosmetikprodukte genutzt und in der Thalassotherapie eingesetzt. Aufgrund seines hohen Jodgehaltes wird Blasentang in der Pflanzenheilkunde bei Schilddrüsenunterfunktion, Heuschnupfen, Arterienverkalkung und Schuppenflechte eingesetzt und ist Bestandteil vieler Schlankheitsmittel (Wikipedia).

Klimawandel

Der Blasentang ist ein Bewohner des Flachwasserbereichs und verträgt kurzzeitiges Trockenfallen. Er ist daher an hohe Temperaturen gut angepasst. Allerdings hat Maczassek (2011) festgestellt, dass die Keimfähigkeit des Blasentangs unter sommerlichen Temperaturen leidet, und bei 25°C deutlich geringer als bei 15°C ist. Bei einer möglichen Aquakultur des Blasentangs muss daher darauf geachtet werden, dass die Reproduktionszeit nicht in die Phase größter sommerlicher Hitze fällt.

Auch die Salinität hat nach den Ergebnissen von Maczassek (2011) einen Einfluss auf die Keimfähigkeit, dieser ist jedoch geringer als der der Temperatur.

Seit den 1960er Jahren sind in der westlichen Ostsee starke Bestandsschwankungen und an zahlreichen Standorten Bestandsrückgänge des Blasentangs festgestellt worden (Schwenke 1964, Vogt 1993, MariLim 2008, Sandow & Krost 2013). Die Bestandsfluktuationen stehen vermutlich nicht in direktem, möglicherweise aber in einem indirekten Zusammenhang mit dem Klimawandel. Beobachtungen von Sandow & Krost (2013) haben gezeigt, dass der Blasentang in der Lübecker Bucht überwiegend durch starke Sedimentbewegungen, durch Fressfeinde (Meerasseln, Strandschnecken) und eventuell auch durch Raumkonkurrenz mit Miesmuscheln geschwächt oder zurückgedrängt wird. In welcher Weise Veränderungen der Standortbedingungen möglicherweise zu einer verringerten Resistenz gegenüber z. B. Fressfeinden führen, ist Bestandteil laufender Untersuchungen bei CRM in Kooperation mit dem Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume in Flintbek.

Weiterführende Information

<http://www.algaebase.org>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Blasentang>

Maczassek, K. (2011): Fertility and thermal stress sensitivity of the bladder wrack *Fucus vesiculosus* L. at the German Baltic coast. *Fucus*-Verbreitung. Im Auftrag des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein, Flintbek.

Sandow, V.; Krost, P. (2013): 2. Zwischenbericht des Projekts „Blasentang und Klima“ für das Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein, Flintbek. 55 S.

4.2.2 Besentang (*Gracilaria vermiculophylla* (Ohmi) Papenfuss)



Abb. 14: Besentang (*Gracilaria vermiculophylla*). Foto: www.nobanis.org, Fotograf: Lars Brammer Nejrup.

Merkmale

Gracilaria vermiculophylla ist eine bis ca. 40 cm lange Rotalge, die aus 0,5 bis 5 mm dicken und stark verzweigten Filamenten besteht. Die Farbe variiert meist zwischen grau-schwarz und rötlich-schwarz, aber nach starker Lichtexposition oder bei Nährstoffmangel kann es auch zu gelblich-braunen Verfärbungen kommen. In der Ostsee leben diese Algen überwiegend frei driftend und liegen einzeln oder als verfilzte Massen am Meeresgrund.

Lebensraum

Gracilaria vermiculophylla stammt ursprünglich aus Ostasien, von wo sie sich fast weltweit ausgebreitet hat. Inzwischen hat diese Meeresalge die europäischen und nordamerikanischen (Pazifik- und Atlantik-) Küsten erreicht. Im Jahr 2005 wurde sie erstmals in der westlichen Ostsee in Kieler Förde gefunden (Weinberger *et al.* 2008). Inzwischen existieren in der Kieler Bucht Standorte mit dauerhafter Besiedlung durch *Gracilaria vermiculophylla*.

Der Besentang ist gut an Brackwasser angepasst, kann aber auch in normalem Seewasser (32 psu) leben. Er ist außerdem sehr temperaturresistent und überlebt Wassertemperaturen zwischen Frost und 30°C. Die Alge ist lichtliebend und entwickelt sich besonders in geschützten Flachwasserbuchten. *Gracilaria vermiculophylla* kann sich durch Sporen vermehren. Die Vermehrung geschieht aber in erster Linie vegetativ, indem Stücke abreißen, fortdriften und dabei weiter wachsen.

Aquakultur

Derzeit wird die Alge nicht kultiviert. Aufgrund ihres in der Natur beobachteten enormen Wachstumspotentials wurden am GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel erfolgreiche

Versuche durchgeführt, *G. vermiculophylla* in Netzbeuteln zu kultivieren. Dabei konnten hohe Wachstumsraten realisiert werden (vgl. Weinberger *et al.* 2008).

Derzeit erlebt die Art einen Bestandsrückgang, möglicherweise verursacht durch einen Parasiten. Für eine zukünftige Nutzung dieser Alge ist es entscheidend, ob sie sich dauerhaft im Ökosystem Ostsee etablieren kann und ob sich resistente Populationen entwickeln.

Nutzung und Vermarktung

Aufgrund des beschriebenen Wachstumspotentials könnte *Gracilaria vermiculophylla* zur Nährstoffretention in eutrophen Küstenbereichen und anschließender energetischer Verwertung in Biogasanlagen eingesetzt werden.

Klimawandel

Der Besentang scheint von steigenden Temperaturen zu profitieren, allerdings weisen die Ergebnisse von Weinberger *et al.* (2008) darauf hin, dass hohe sommerliche Wassertemperaturen die Widerstandskraft der Alge gegen niedrige Salinitäten verringern.

Weiterführende Information

<http://www.algaebase.org>

<http://neobiota.umwelt.vdst.de/pdf/Gracilaria.pdf>

Schwedischer Steckbrief der Art: <http://www.frammandearter.se/5arter/pdf/gracilaria-vermiculophylla.pdf>

Weinberger, F.; Buchholz, B.; Karez, R.; Wahl, M. (2008): The invasive red alga *Gracilaria vermiculophylla* in the Baltic Sea: adaptation to brackish water may compensate for light limitation. *Aquatic Biology* 3: 251–264.

4.2.3 Dicklippige Meeräsche (*Chelon labrosus* Risso, 1827)



Abb. 15: Dicklippige Meeräschen im Flachwasser. Foto: Liane Lühmann, EMB, Lübeck.

Merkmale

Die Dicklippige Meeräsche besitzt eine dicke Oberlippe (Name!) mit unregelmäßigen Reihen kleiner Hautverdickungen. Sie hat einen langgestreckten, spindelförmigen Körper, und wird bis ca. 60 cm lang. Der Rücken ist dunkelgrau bis blau, die Flanken sind silbergrau gefärbt und zeigen 4 bis 5 dunkle Längsstreifen (vgl. Muus & Dahlström 1991).

Lebensraum

Dicklippige Meeräschen kommen ganzjährig rund um das Mittelmeer und das Schwarze Meer an den europäischen Küsten bis ungefähr zur belgischen Nordseeküste vor. Im Sommer wandern sie in kleinen Trupps bis zu den Färöern und Island bzw. den skandinavischen Küsten und in die westliche Ostsee (Muus & Dahlström 1991). Meeräschen leben als Schwarmfische im küstennahen Bereich, wobei sie gelegentlich auch in Lagunen und Flussmündungen vordringen. Sie sind dabei im Sommer vor allem im Bereich der Oberfläche anzutreffen und weiden bodennah Aufwuchsalgen und Wirbellose ab. Im Winter ziehen sie sich in tiefere Schichten zurück und stellen die Nahrungsaufnahme weitgehend ein (Wikipedia).

Aquakultur

Obwohl *Chelon labrosus* von der FAO als traditionelle Aquakulturart in Italien erwähnt wird, ist über kontemporäre Aquakulturaktivitäten in Europa wenig herauszufinden. Derzeit scheint aber die Aquakultur auf Wildfängen von Jungfischen zu basieren. Ben Khemis *et al.* (2006) beschreiben eine interessante Technik zur Larvenaufzucht bei *Chelon labrosus*. Auch wenn sich die meisten Autoren einig sind, dass diese Art als Konsument niedriger trophischer Ebene ein enormes Potential in der Aquakultur hat, sind noch grundlegende Forschungsaktivitäten bis zu einem kommerziellen Einsatz nötig.

Da sich die Dicklippige Meeräsche unter natürlichen Bedingungen bei kälteren Temperaturen in tiefere Meeresbereiche zurückzieht, bieten sich in unseren Breiten Farmstandorte in der Nähe von Kühlwasserauslässen an.

Seit 2014 wird von der Firma CRM (Kiel), dem Fraunhofer Institut für Marine Biotechnologie (EMB; Lübeck) und dem Fischzucht-Unternehmen „Kieler Lachsforelle“ (Kiel) in der Kieler Bucht ein Projekt zur Erkundung der Einsatzmöglichkeiten der Dicklippigen Meeräsche in der Aquakultur durchgeführt.

Futter / Ernährung

Die Dicklippige Meeräsche ernährt sich von benthischen Diatomeen, epiphytischen Algen und kleinen Invertebraten. Damit wäre sie die erste nicht obligatorisch karnivore marine Fischart in der Aquakultur unserer Breiten.

Nutzung und Vermarktung

Die Dicklippige Meeräsche gilt als sehr wohlschmeckend und erfreut sich auch wegen ihrer geringen Anzahl relativ großer Gräten wachsender Beliebtheit als Speisefisch. Der zu erzielende Verkaufspreis liegt bei ca. 10,- € / kg.

Klimawandel

Die dicklippige Meeräsche hat in den vergangenen Jahrzehnten ihr Verbreitungsgebiet nach Osten ausgedehnt (Mohr 1988). Inwieweit dieser Effekt auf den Klimawandel zurückzuführen ist, lässt sich nicht mit Sicherheit sagen. Beobachtungen von Fischern aus Strande (Kieler Bucht, 2013/2014), dass die Meeräsche auch in der Kieler Förde in einzelnen Exemplaren überwintert, deuten aber in diese Richtung. Generell kann man davon ausgehen, dass höhere Temperaturen das Vorkommen der Meeräsche positiv beeinflussen dürften.

Weiterführende Information

FAO Cultured Aquatic Species Information: www.fao.org/fishery/culturedspecies

FishBase Species Summary: www.fishbase.org

Ben Khemis, I.; Zouiten, D.; Besbes, R.; Kamoun, F. (2006): Larval rearing and weaning of thick lipped grey mullet (*Chelon labrosus*) in mesocosm with semi-extensive technology. *Aquaculture* 259: 190-201.

Mohr, H. (1988). Zur Biologie und fischereilichen Bedeutung der Meeräsche an der deutschen Nord- und Ostseeküste. *Protokolle zur Fischereitechnik* 15 (69): 163-175.

Muus, B.; Dahlström, P. (1991): *Meeresfische*. BLV. 244 S.

5 Nachhaltige, klimaangepasste Aquakultur in der Kieler Förde (Kieler Bucht)

5.1 Einleitung

Vor ca. 10.000 Jahren begannen Menschen im Mittleren Osten, Ackerbau und Viehzucht zu treiben. Dadurch wurde es möglich, nicht nur 0,1% sondern 90% der Biomasse einer Fläche für den Menschen zu nutzen. Das bedeutete mehr Kaloriengewinnung pro Fläche und damit mehr Menschen, die ernährt werden konnten.

Im Meer aber hat eine „neolithische Revolution“ nicht stattgefunden. Die überwiegende Menge der Meeresprodukte kommt nicht aus Anbau oder Zucht, sondern die Produktion wird nach wie vor als „environmental service“ dem Meer überlassen. Die Erntemethoden hingegen sind hochtechnisiert. Nahezu jedes Schiff verfügt über GPS, Radar, Echolot und viele tausend Pferdestärken. Das führt zu einer zunehmenden Belastung der natürlichen Fischbestände, was auch durch die Tatsache verdeutlicht wird, dass trotz zunehmender Technisierung der Fangmethoden die Fischereierträge seit zwei Jahrzehnten nicht mehr ansteigen.

Was kann man also tun, um auf geringerer Fläche mehr Ertrag für die menschlichen Bedürfnisse zu erzielen, ohne das natürliche System zu überlasten? Eine echte Steigerung verfügbarer Nahrung für Menschen lässt sich nur erzielen, wenn a) verstärkt Pflanzen in Kultur genommen werden und/oder b) die Nahrungsketten verkürzt werden, da bei jedem Schritt in der Nahrungskette bis zu 90% der Biomasse in Form von Energieverbrauch der jeweiligen Organismen einer Trophieebene verloren gehen.

Die Hauptproduzenten im Meer sind – anders als auf dem Land – mikroskopisch kleine, im Wasser umhertreibende Pflanzen, das Phytoplankton. Sie haben in Nord- und Ostsee eine Primärproduktion von ca. 150 g organisch gebundenen Kohlenstoff pro m² und Jahr (Gerlach 1994, Rheinheimer 1995), die als Nahrungsquelle für alle anderen im Meer lebenden Organismen zur Verfügung stehen. Das ist im Vergleich zu Ökosystemen am Land in gleichen Klimazonen recht wenig, und überdies ist Phytoplankton nicht unmittelbar für den Menschen nutzbar. Eine aufwendige Extraktion des Phytoplanktons aus dem Meerwasser erscheint daher wenig sinnvoll. Besser wäre es, auf die nächste trophische Ebene, die Filtrierer zurückzugreifen. Bei uns wäre das z. B. die Miesmuschel, die so viel Biomasse wie keine andere makroskopische Art produziert. Welches Potential in der Nutzung des Planktons steckt, zeigen in den Polarregionen die großen Wale, die sich von filtrierenden Plankton-Krebschen, dem Krill, ernähren. Aufgrund der kurzen Nahrungskette kann von filtrierenden Organismen daher bis zu 50mal mehr Biomasse erzeugt werden als z. B. durch Fische auf einer hohen trophischen Ebene.

Eine Möglichkeit der Nahrungskettenverkürzung in der Aquakultur besteht auch darin, anstatt räuberischer Fische solche Arten zu kultivieren, die sich vorwiegend von pflanzlicher Kost ernähren. Hier fehlen jedoch Erfahrungen, da derzeit alle bei uns kultivierten marinen Fischarten Räuber sind (Steinbutt, Wolfsbarsch, Dorade, Lachs, Regenbogenforelle).

Als Alternative zu diesen Räubern kommt in unseren Breiten die omnivore Meeräsrche *Chelon labrosus* in Frage. Diese Fischart ernährt sich von Algen und darauf lebenden Bodenwirbellosen. Sie kommt ursprünglich aus der Mittelmeerregion, ist jedoch in den vergangenen Jahren in Nord- und Ostsee heimisch geworden und eignet sich gut als Speisefisch.

Bei allen in Aquakultur gehaltenen Fischen, die auf externe Zufütterung angewiesen sind, entsteht eine Belastung des Meeres durch die im Futter – und in der Folge in den Fischfaeces –

enthaltenen Nährstoffen. Hierdurch kann es zur Überdüngung (Eutrophierung) des Wassers kommen mit unerwünschten Nebenwirkungen wie Trübung, Algenblüten etc.

Dieser Überdüngung kann durch den Einsatz von Organismen, die dem Wasser Nährstoffe entziehen wie z. B. Algen oder Muscheln, entgegengewirkt werden. Dadurch ergibt sich als Idealkombination die gemeinsame Kultur von solchen Organismen, die Nährstoffe eintragen mit solchen, die Nährstoffe aufnehmen. Das kann z. B. durch Polykultur von Algen, Muscheln und Fischen realisiert werden.

5.2 Eine poly-integrierte IMTA in der Kieler Förde

Bei der poly-integrierten IMTA handelt es sich um ein Konzept, welches auch als IMTA (Integrated Multi Trophic Aquaculture) bekannt ist und teilweise bereits in der Kieler Förde realisiert wurde. Dort existiert derzeit eine Netzkäfiganlage (Fischfarm), in der Regenbogenforellen und (im Versuchsstadium) Meeräschen gezogen werden. Die Produktion liegt derzeit bei ca. 12 t / Jahr. Zusätzlich werden in einer Langleinenkultur ca. 100 kg Algen und ca. 20 t Miesmuscheln pro Jahr produziert.

Die Algen- und Muschelkultur in Polykultur ist am Westufer der Kieler Förde angesiedelt, die Regenbogenforellenfarm befindet sich am Ostufer unweit des Gemeinschaftskraftwerks Kiel. Die Standorte sind etwa 3800 m voneinander entfernt. Diese beiden sind die derzeit einzigen Standorte mariner open-water Aquakultur an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste.



Abb. 16: Muschelkultur in der Kieler Förde. Foto: CRM.



Abb. 17: Algenkultur in der Kieler Förde. Foto: CRM.

Eine zukunftsorientierte und klimaangepasste Aquafarm sollte folgenden Bedingungen genügen:

- vollständige Nährstoff-Kompensation
- hochwertige Produkte als Basis für eine Vielzahl weiterer Produkte
- Fischfutterproduktion unabhängig von industrieller Fischerei
- Erzeugung regionaler Produkte und Sicherung regionaler Arbeitsplätze
- günstige CO₂-Bilanz durch kurze Transportwege

Idealerweise sollte eine solche Aquafarm nach dem Konzept einer integrierten multitrophischen Land-Wasseranlage mit einer Rezirkulationsanlage an Land, einer eigenen Fischfutterproduktionsanlage ausgestattet sein und die verschiedenen Wasserschichten sowie den Meeresboden nutzen. In der Versuchsanlage in der Kieler Förde wurden einige Komponenten bereits getestet.

5.2.1 Rezirkulationsanlage an Land

Eine Komponente der poly-integrierten IMTA stellt die vollständig nährstoffneutrale Kreislaufanlage an Land dar. Hier vollzieht sich die Anzucht der Algen, die dann später in das Freiwasser entlassen werden. Die Algenanzucht könnte in einem Wasserkreislauf an eine Fischproduktion gekoppelt werden, welche im Idealfall Prozesswärme einer nahe gelegenen Industrieanlage (Biogasanlage / Klärwerk, Kraftwerk) nutzt. Diese Wärme könnte zur Hälterung von Warmwasserarten genutzt werden, wie z. B. Shrimp, Dorade und Wolfsbarsch. Die Algenanzucht fungiert hierbei als Teil der Wasseraufbereitung, welche vervollständigt wird durch Trommelfilter, Eiweißabschäumer und Denitrifikationseinheit sowie durch ein vorgeschaltetes Becken, in welchem Meeresringelwürmer kultiviert werden könnten.

5.2.2 Fischfutterproduktionsanlage.

Die Beschaffung von Rohstoffen für Futtermittel in der Aquakultur ist vor dem Hintergrund der Ausbeutung freilebender Fischbestände problematisch. Eine mögliche Alternative ist der Einsatz von Muschelmehl aus Farmproduktion an Stelle von Fischmehl.

Die prinzipielle Realisierbarkeit eines solchen Konzepts konnte in einem Kooperationsprojekt der CAU Kiel und der Firma CRM dargestellt werden. Es zeigte sich, dass Fischmehl ohne Einbuße an Wachstumsleistung oder Fleischqualität der Fische zu 100% durch Mehl aus Miesmuscheln ersetzt werden kann (Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde 2013).

Diese Anlage sollte überdies Algen in die Fischfuttermischung integrieren, so dass ein größtmöglicher Anteil der benötigten Fischfutterkomponenten im System selbst bereitgestellt werden.

5.2.3 Netzgehegefarm

Bei dem Kieler Fischzucht-Unternehmen „Kieler Lachsforelle“ werden Regenbogenforellen, sowie zunächst in einer Versuchseinheit Meeräschen in Netzgehegen gemästet. Für die Netzgehege kann auf Standardkomponenten zurückgegriffen werden.

Die Kultur von Meeräschen ist absolutes Neuland. Die Dicklippige Meeräsche, *Chelon labrosus* (RISSO 1827), ist eine der wenigen nicht obligatorisch räuberischen marinen Speisefischarten. Sie ernährt sich von benthischen Diatomeen, epiphytischen Algen und kleinen Invertebraten, die vorwiegend beim Abweiden der Algen mit aufgenommen werden. Ursprünglich ist sie in der Mittelmeerregion heimisch, konnte sich in den vergangenen Jahren jedoch erfolgreich in Nord- und Ostsee ansiedeln. Die Meeräsche hat saftiges Fleisch mit wenigen Gräten und lässt sich auf vielfältige Weise zubereiten. Sie ist damit ein interessanter Kandidat für eine nachhaltige Fischproduktion, zu deren Kultivierung allerdings noch ganz erhebliche Grundlagenarbeit geleistet werden muss.

Da die Meeräschen den Algenbewuchs von Hartsubstraten abweiden, können sie eventuell eingesetzt werden, um die Netze der Netzgehegeanlagen von Aufwuchs zu säubern. Dies wäre eine innovative und biologische Antifouling-Strategie.

Während eine verwandte Art, *Mugil cephalus*, im Mittelmeer bereits vereinzelt schon kultiviert wird (allerdings auf der Basis von wild gefangenen Jungfischen), steht die Kultur von *Chelon labrosus* noch ganz am Anfang. Die bei CRM in Zusammenarbeit mit Kooperationspartnern im Jahr 2014 anlaufende Forschungs- und Entwicklungsarbeit soll u. a. schlüssige Strategien für folgende Arbeitsfelder liefern:

Reproduktion

Reproduktion und Larvenaufzucht der Dicklippigen Meeräsche unter Kulturbedingungen sind grundsätzlich möglich (Ben Khemis *et al.* 2006); Praktikabilität und Wirtschaftlichkeit müssen erkundet werden.

Fütterungsstrategie

Die Dicklippige Meeräsche weidet Algenaufwuchs an Hartsubstraten ab und ernährt sich ansonsten von Kleinlebewesen am und im Meeresboden. In welchem Umfang pelletiertes Futter eingesetzt werden kann, ist derzeit noch unklar. Vermutlich müssen die Flotationseigenschaften der Pellets den Nahrungsaufnahme-Präferenzen der Fische angepasst werden.

Futterzusammensetzung

Als herbivore bzw. omnivore Art benötigt *Chelon* einen höheren Anteil an Algen in der Futtermischung. Hierzu sind grundlegende Untersuchungen notwendig.

Kultivierung in Netzgehegen

Es muss erkundet werden, wie gut sich die Meeräsche zur Hälterung in Netzgehegen eignet, mit welcher Netzdichte, in welcher Wassertiefe etc.

Temperaturempfindlichkeit

Problematisch könnten ggf. kalte Wintertemperaturen sein. In der Natur zieht sich die Meeräsche bei kälteren Temperaturen in tiefere Wasserschichten zurück. Möglicherweise bieten sich Farmstandorte in der Nähe von Kühlwasserauslässen an.

Bei diesem Vorhaben handelt es sich um eine grundlegende Machbarkeitsstudie. Der erhebliche Aufwand für die Grundlagenforschung wird durch das Potential dieser Art für die nachhaltige Aquakultur kompensiert.

5.2.4 Langleinenkultur

Langleinenkultur von Muscheln und Zuckertang sind eingeführte und bewährte Techniken, für die ein umfangreiches technisches Equipment entwickelt wurde. Der innovative Aspekt besteht hier in der regionalen Vermarktung und einer konsequenten Nutzung von Synergien, z. B. der Nutzung untermaßiger und/oder angestoßener Muscheln zur Produktion von Fischfutter.

Durch die extraktive Kulturweise (keine Nährstoffbelastung durch eingetragenes Futter, sondern Nährstoffabreicherung durch Ernte) werden Nährstoffeinträge der Netzgehege-Komponente kompensiert.

5.2.5 Nutzung des Meeresbodens

Sowohl unter den Netzgehegen der Fische als auch unter den Muschel-Langleinen kommt es zu einer Anreicherung von organischer Substanz am Meeresboden. Bei erheblicher organischer Belastung kommt es zu Sauerstoffdefiziten, jedoch kann bei einer intermediären Belastung der organische Eintrag verschiedenen bodenlebenden Organismen als Nahrungsquelle dienen.



Abb. 18: Hohe Dichte von Seesternen unter der Muschelfarm in der Kieler Förde. Foto: CRM.

Unter der Muschelfarm von CRM in der Kieler Förde sind beispielsweise Anhäufungen von Seesternen zu beobachten.

Die hohe Dichte von Seesternen sollte in einer integrierten Aquafarm genutzt werden, wodurch zugleich die ökologischen Auswirkungen minimiert würden. Seesterne enthalten Fettsäuren und andere Stoffe, die in Futtermitteln für die Aquakultur genutzt werden könnten.

Auch Ringelwürmer profitieren von organischen Einträgen. Sie enthalten ebenfalls Proteine und Fettsäuren, was sie als Futtermittelkomponente interessant macht, sie könnten aber auch unmittelbar als Angelbedarf verkauft werden.

5.2.6 Bilanzierungen

Eine ausgeglichene Nährstoffbilanz lässt sich durch den integrierten Einsatz von Algen, Muscheln und Fischen verwirklichen. Im nachfolgenden Beispiel für eine Bilanzierung umfasst die Berechnung auch die für Fischfutter genutzten Bodentiere (Ringelwürmer und Seesterne) und die Meeräschen (mit einem um 1/3 geringer angesetzten Stickstoffbedarf als die Regenbogenforellen). Nicht in die Berechnung eingeflossen ist jedoch die Bio-Energieerzeugung auf Basis von Mikroalgen oder *Gracilaria*. Die Entnahme der Algen trägt zu einer weiteren Nährstoffextraktion bei. Die jeweiligen Anteile von Stickstoff und Phosphor lassen sich entsprechend dem relativen Wasseranteil (ca. 90%), dem Kohlenstoffanteil in der Trockenmasse (ca. 50%) sowie der Nährstoffkomposition, die sich durch das Redfield-Verhältnis (C:N:P = 116:16:1) ergibt, approximieren.

Tab. 6: Nährstoffbilanz einer multi-trophischen Aquakultur (Freisetzung: ohne Vorzeichen; Retention: mit negativem Vorzeichen)

(alle Zahlen in kg)	Algen	Muscheln	Bodentiere	Regenbogenforellen	Meeräschen	Summe
Produktion	1500	75000	1000	10000	5000	92500
Stickstoff	-9,6	-750	-30	589	196,5	-4,1
Phosphor	-1,65	-150	-6	70	35	-52,65

Durch diese Konzeption entstehen im Vergleich zum industriellen Fischfang oder einer industrialisierten Aquakultur erhöhte Produktionskosten, die zumindest zum Teil durch regionale Vermarktung mit kurzen Transportwegen und wenigen Zwischenhändlern wieder aufgefangen werden können. Weiterhin rechtfertigt die hohe Qualität und die Biozertifizierung ein höheres Preisniveau.

Das zukünftige Potential in der marinen Aquakultur sehen wir in erster Linie in der nährstoffneutralen und nachhaltigen Kombination von kultivierten Organismen, in hoher (Bio)Qualität und regionaler Vermarktung. Eine Massenproduktion mit all ihren aus der Landwirtschaft bekannten negativen ökologischen Folgen muss vermieden werden.

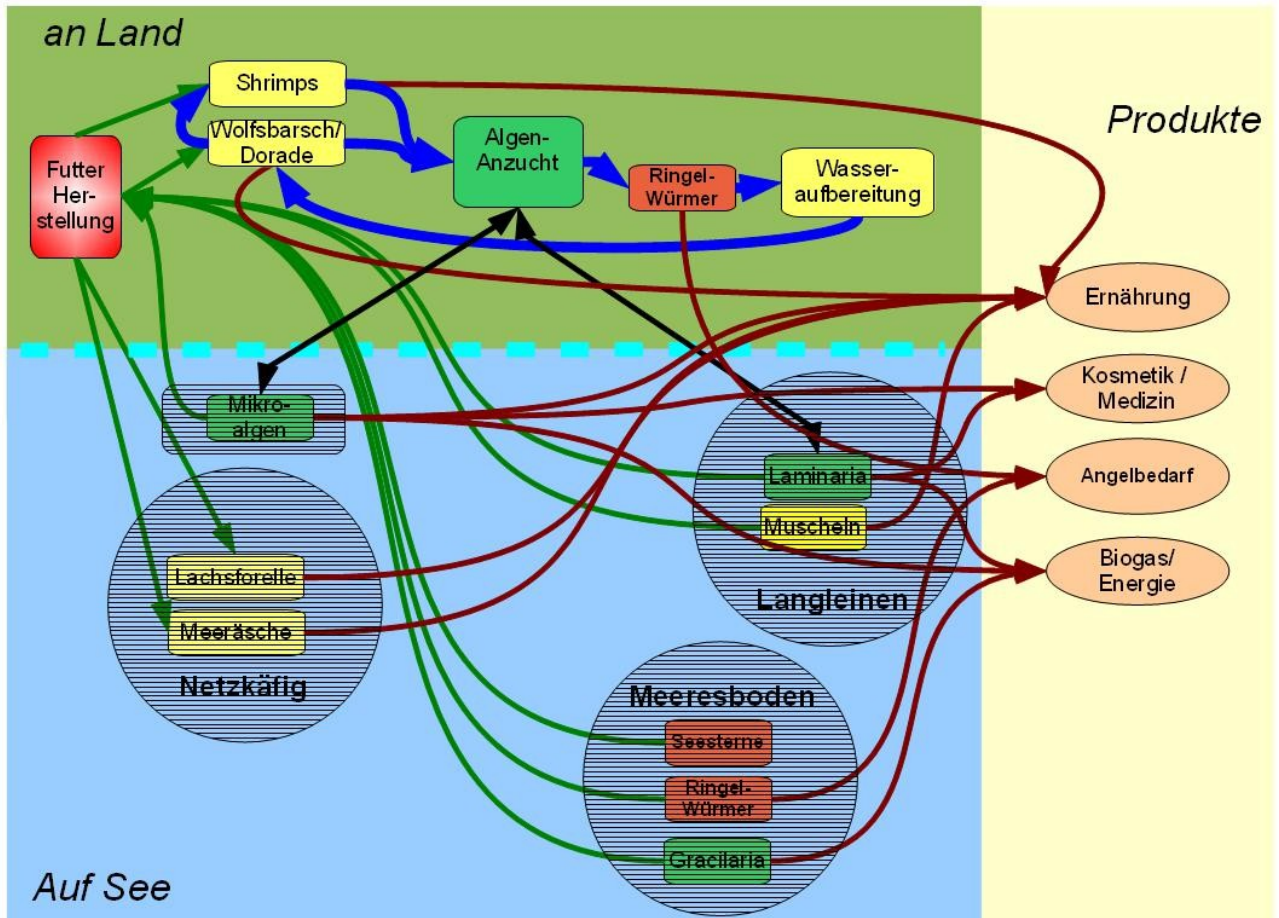


Abb. 19: Schema einer polyintegrierten Aquakulturanlage in der westlichen Ostsee. (CRM)

Literaturverzeichnis

- Ben Khemis, I.; Zouiten, D.; Besbes, R.; Kamoun, F. (2006): Larval rearing and weaning of thick lipped grey mullet (*Chelon labrosus*) in mesocosm with semi-extensive technology. *Aquaculture* 259: 190-201.
- Birnbaum, C. (2011): NOBANIS Invasive Alien Species Fact Sheet: *Dreissena polymorpha*. 2006, modified 2011. 22 S. Verfügbar unter: http://www.nobanis.org/files/factsheets/Dreissena_polymorpha.pdf.
- Brenko, M. H.; Calabrese, A. (1969): The combined effects of salinity and temperature on larvae of the mussel *Mytilus edulis*. *Marine Biology* 4: 224-226.
- Breusing, C. (2012I): Population genetics and morphometric variation of blue mussels in the western Baltic Sea. Master Thesis, GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research, Kiel. 89 S.
- Cochrane, K.; De Young, C.; Soto, D.; Bahri, T. (eds) (2009): Climate change implications for fisheries and aquaculture: overview of current scientific knowledge. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 530. Rome, FAO. 212 S.
- Cunningham, S. C. (2013). The effects of ocean acidification on juvenile *Haliotis iris* (Thesis, Master of Science). University of Otago. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10523/4434>
- Davis, M. H.; Lützen, J.; Davis, M. E. (2007): The spread of *Styela clava* Herdman, 1882 (Tunicata, Ascidiacea) in European waters. *Aquatic Invasions* 2 (4): 378-390
- Drake, L. A.; Doblin, M. A. *et al.* (2007): Potential microbial bioinvasions via ships' ballast water, sediment, and biofilm. *Marine Pollution Bulletin* 55 (7-9): 333.
- Edwards, M.; Richardson, A. J. (2004): The impact of climate change on the phenology of the plankton community and trophic mismatch. *Nature* 430: 881-884.
- Feulner, G.; Rahmstorf, S. (2010): On the effect of a new grand minimum of solar activity on the future climate on Earth. *Geophysical Research Letters* 37, L05707, 5 PP., doi:10.1029/2010GL042710.
- Fröhle, P.; Schlamkow, C.; Dreier, N.; Sommermeier, K. (2011): Climate Change and Coastal Protection: Adaptation Strategies for the German Baltic Sea Coast. Chapter 7 in Schernewski, G. *et al.*: *Global Change and Baltic Coastal Zones*. Coastal Research Library 1, Springer. S. 103-116.
- Gerlach, S. A. (1994): *Spezielle Ökologie. Marine Systeme*. Springer, Berlin, Heidelberg. 226 S.
- Gitay, H.; Suárez, A.; Watson, R. T.; Dokken, D. J. (eds.) (2002): Climate change and biodiversity. IPCC Technical paper 5: 77 S.
- Gollasch, S.; Macdonald, E. *et al.* (2002): Life in ballast tanks. In: E. Leppäkoski *et al.* (eds.): *Invasive aquatic species of Europe*. Kluwer, Dordrecht. S. 217-231.
- HELCOM (2007): Climate Change in the Baltic Sea Area – HELCOM Thematic Assessment in 2007. *Baltic Sea Environ. Proc.* 111: pp. 49. Prepared by J. F. Pawlek, J.-M. Leppänen based on BALTEX Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin (BACC). BACC Lead Authors.
- Hülsmann, N.; Galil, B. S. (2002): Protists – a dominant component of the ballast-transported biota. In: E. Leppäkoski *et al.* (eds.): *Invasive aquatic species of Europe*. Kluwer, Dordrecht. S. 20–26.

- Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde (2013): Nachhaltig kultivierte Miesmuscheln als alternative Quelle von Omega-3-Fettsäuren in der Fischfutterindustrie. Abschlußbericht Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde, Abteilung Lebensmitteltechnologie, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. 27 S.
- IPCC (2007 a): Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 104 S.
- IPCC (2007 b): Fourth Assessment Report (AR4), Climate Change 2007, WG I: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger • Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen).
- Jaspers, C.; Titelman, J.; Hansson, L. J.; Haraldsson, M.; Ditlefsen, C. R. (2011): The invasive ctenophore *Mnemiopsis leidyi* poses no direct threat to Baltic cod eggs and larvae. *Limnol. Oceanogr.* 56 (2): 431–439.
- Kornmann, P.; Sahling, P.-H. (1983): Meeresalgen von Helgoland. Biologische Anstalt Helgoland, Hamburg. 289 S.
- Krost, P.; Rehm, S.; Kock, M.; Piker, L. (2011): Leitfaden für nachhaltige marine Aquakultur. CRM, 64 S.
- Leppäkoski, E., Gollasch, S. et al. (2002): The Baltic - a sea of invaders. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 59 (7): 1175-1188.
- Lüning, Klaus (1990): Seaweeds: Their Environment, Biogeography, and Ecophysiology. Wiley, 544 S.
- Maczassek, K. (2011): Fertility and thermal stress sensitivity of the bladder wrack *Fucus vesiculosus* L. at the German Baltic coast. *Fucus-Verbreitung*. Im Auftrag des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein, Flintbek.
- Margalef, R. (1978): Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanologica Acta* 1 (4): 493-509.
- Maruyama, H.; Tamauchi, H.; Iizuka, M.; Nakano, T. (2006): The role of NK cells in antitumor activity of dietary fucoïdan from *Undaria pinnatifida* sporophyllis (Mekabu). *Planta Med.* 72: 1415.
- Mohr, H. (1988): Zur Biologie und fischereilichen Bedeutung der Meeräsche an der deutschen Nord- und Ostseeküste. *Protokolle zur Fischereitechnik* 15 (69): 163-175.
- Muus, B.; Dahlström, P. (1991): Meeresfische. BLV. 244 S.
- Nausch, G.; Bachor, A.; Thorkild, P.; Voß, J.; von Weber, M. (2011): Nährstoffe in den deutschen Küstengewässern der Ostsee und angrenzenden Gebieten. *Meeresumwelt Aktuell Nord- und Ostsee 2011/1*, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg, Rostock. 16 S.
- Nehring, S. (2006): NOBANIS – Invasive Alien Species Fact Sheet – *Crassostrea gigas*. – From: Online Database of the North European and Baltic Network on Invasive Alien Species - NOBANIS www.nobanis.org, 14.2.2014.
- Nehring, S.; Leuchs, H. (2000): Neozoen im Makrozoobenthos der Brackgewässer an der deutschen Nordseeküste. *Lauterbornia* 39: 73-116.
- Paglialonga, L. (2012): Nachhaltige marine Aquakultur: Eine Alternative für die traditionelle Fischerei? Eine Akzeptanzanalyse an der deutschen Ostsee. Bachelorarbeit, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. 54 S.

- Petoukhov, V.; Semenov, V. A. (2010): A link between reduced Barents-Kara sea ice and cold winter extremes over northern continents. *J. Geophys. Res.* 115: 1-11.
- Rheinheimer, G. (Hrsg.) (1996): *Meereskunde der Ostsee*. 2. Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, New York. 338 S.
- Sandow, V.; Krost, P. (2013): 2. Zwischenbericht des Projekts „Blasentang und Klima“ für das Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein, Flintbek. 55 S.
- Schernewski, G.; Hofstede, J.; Neumann, T. (2011): *Global change and Baltic coastal zones*. Coastal Research Library 1, Springer. 298 S.
- Schories D.; Selig U. (2006): Die Bedeutung eingeschleppter Arten (alien species) für die Europäische Wasserrahmenrichtlinie am Beispiel der Ostsee. *Rostocker Meeresbiologische Beiträge* 15: 147-158.
- Schwenke, H. (1969): Meeresbotanische Untersuchungen in der westlichen Ostsee als Beitrag zu einer marinen Vegetationskunde. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 54: 35-91.
- Smayda, T. J. (1997): Harmful algal blooms: their ecophysiology and general relevance to phytoplankton blooms in the sea. *Limnol.Oceanogr.* 42: 1137-1153.
- Sommer, U. N.; Aberle, N.; Engel, A.; Hansen, T.; Lengfellner, K.; Sandow, M.; Wohlers, J.; Zöllner, E.; Riebesell, U. (2007): An indoor mesocosm system to study the effect of climate change on the late winter and spring succession of Baltic Sea phyto- and zooplankton. *Oecologia* 150 (4): 655-667.
- Thomsen, J.; Casties, I.; Pansch, C.; Melzner, F. (2013): Food availability outweighs ocean acidification effects in juvenile *Mytilus edulis*: laboratory and field experiments. *Global Change Biology* 19: 1017-1027.
- Umweltbundesamt (Hrsg.) (2009): *Klimawandel und marine Ökosysteme – Meeresschutz ist Klimaschutz. – Fachgebiet II 2.3 Meeresschutz*. Eigenverlag Umweltbundesamt, 62 S. Abrufbar unter: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3805.pdf>.
- 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.
- Waldbusser, G.; Brunner, E. L.; Haley, B. A.; Hales, B.; Langdon, C. J.; Prah, F. G. (2013): A developmental and energetic basis linking larval oyster shell formation to acidification sensitivity. *Geophysical Research Letters* 40: 2171-2176.
- Wasmund, N.; Uhlig, S. (2003): Phytoplankton trends in the Baltic Sea. *ICES Journal of Marine Science* 60: 177-186.
- Weinberger, F.; Buchholz, B.; Karez, R.; Wahl, M. (2008): The invasive red alga *Gracilaria vermiculophylla* in the Baltic Sea: adaptation to brackish water may compensate for light limitation. *Aquatic Biology* Vol. 3: 251–264.

Internetreferenzen

<http://de.wikipedia.org/wiki/Blasentang>

<http://neobiota.umwelt.vdst.de/pdf/Gracilaria.pdf>

<http://www.algaebase.org>

<http://www.cmar.csiro.au/>

<http://www.fao.org/fishery/culturedspecies>

http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Laminaria_japonica/en

http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oncorhynchus_mykiss/en

<http://www.fishbase.org>

http://www.frammandearter.se/5arter/pdf/gracilaria_vermiculophylla.pdf

http://www.futureocean.org/de/cluster/ueberblick/A1_ozeanversauerung.php, Zugriff am 03.04.2014

http://www.hzg.de/public_relations/media/2492_10_19/index_0002492.html.de

<http://www.norddeutscher.klimaatalas.de>

<http://www.riff-nienhagen.de>

http://www.riff-nienhagen.de/pdf/jahresberichte_2012/LFA_Abschlussbericht_ALGEN_2012.pdf

Impressum

Herausgeber

Ecologic Institut gemeinnützige GmbH
Pfalzburger Str. 43/44
10717 Berlin
www.ecologic.eu

Inhalt erstellt durch:

Coastal Research & Management CRM
Tiessenkai 12
D-24159 Kiel, Germany
<http://www.crm-online.de>

Web

<http://www.klimzug-radost.de>

Bildrechte

Deckblatt: Fotos links: © EMB Lübeck, Fotos mitte und rechts © CRM
Alle anderen Bilder: © CRM oder angegeben

ISSN 2192-3140

Das Projekt "Regionale Anpassungsstrategien für die deutsche Ostseeküste" (RADOST) wird im Rahmen der Maßnahme „Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten“ (KLIMZUG) vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert

