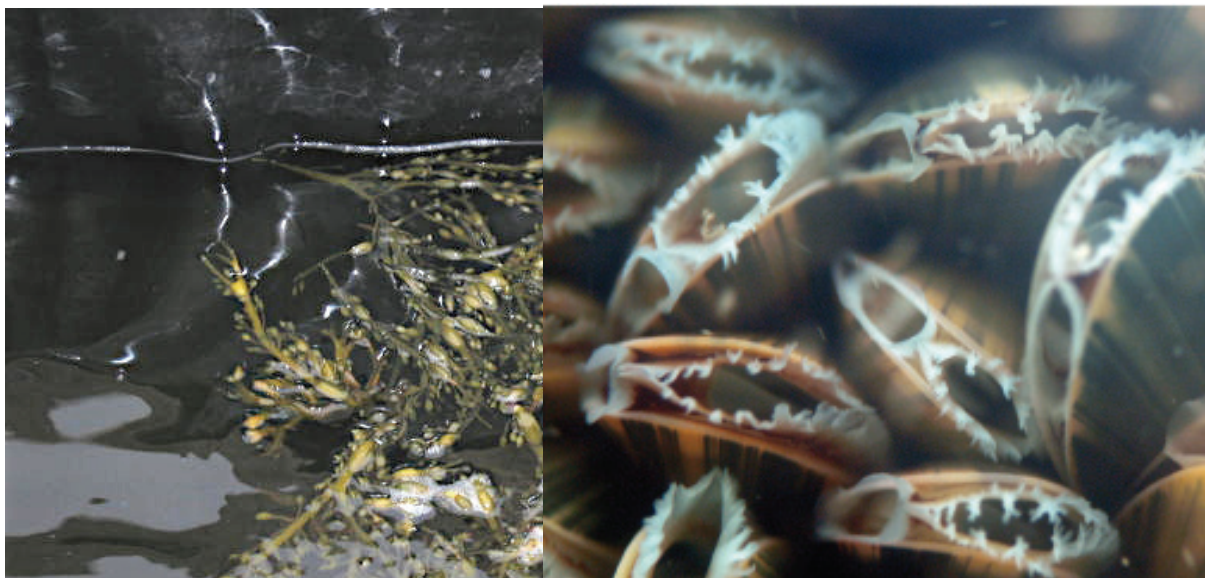


# WOLFGANG SCHUSTER & UWE WALTER

## VERBESSERUNG DER SELBSTREINIGUNG VON KÜSTENGEWÄSSERN DURCH INTEGRIERTE AQUAKULTUR



Im Auftrag des

Biosphärenreservat  
Niedersächsisches  
Wattenmeer



u n t e r s t ü t z t   d u r c h



A u g u s t   2 0 0 9

# 1. Einleitung

## Ziel der Untersuchung

*"Wasser ist keine übliche Handelsware, sondern ein ererbtes Gut, das geschützt, verteidigt und entsprechend behandelt werden muss ...*

*... es ist erforderlich, eine integrierte Wasserpolitik in der Gemeinschaft zu entwickeln."*

*(Auszug aus den Erwägungsgründen der europäischen Wasserrahmenrichtlinie)*

Wasser bildet die Grundlage allen Lebens. Auch für den Menschen ist es eine kostbare, unentbehrliche Ressource. Der verantwortungsvolle Umgang mit Gewässern ist unerlässlich, um den Lebensraum für eine reichhaltige Tier- und Pflanzenwelt zu erhalten, aber auch um sauberes Trinkwasser bereitstellen zu können.

Um weltweit das Bewusstsein für die Bedeutung des Wassers zu fördern, haben die Vereinten Nationen das Jahr 2003 zum „International Year of Freshwater“ erklärt (UNESCO 2003). Auch die Europäische Union ist sich ihrer Verantwortung für den Schutz der Gewässer bewusst und hat aus diesem Grund gesetzliche Regeln zu deren Schutz erlassen. Um für die vorhandenen, zahlreichen Einzelverordnungen und Gesetze einen geeigneten Ordnungsrahmen zu schaffen, wurde im Oktober 2000 die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (RL 2000/60/EG; WRRL) verabschiedet. Die Richtlinie trat im Jahr 2000 in Kraft und hat das Erreichen eines "guten Zustands" im Jahr 2015 für alle europäischen Gewässer zum Ziel. Das bedeutet eine systematische Verbesserung und keine weitere Verschlechterung der Gütesituation der Gewässer. Der besondere Reiz dieser Richtlinie liegt in der konsequenten Umsetzung einer ganzheitlichen Betrachtung der Gewässer, vor allem aus ökologischer Sicht. Gleichzeitig regelt sie aber auch spezifische Tatbestände. Beide Aspekte zeigen sich insbesondere im

- konsequent flächenhaften, auf das Flusseinzugsgebiet bezogenen Ansatz,
- gewässertypenspezifischen Ansatz,
- kombinierten Ansatz der Betrachtung von Schadstoffen (Emission und Immission) und
- einzelstoff- bzw. gruppenparameterbezogenen Ansatz.<sup>1</sup>

Die WRRL zielt also erstmals auf eine Verbesserung auch küstennaher Gewässer ab.

---

<sup>1</sup> [http://www.bmu.de/gewaesserschutz/fb/gewaesserschutzpolitik\\_d\\_eu\\_int/doc/3063.php](http://www.bmu.de/gewaesserschutz/fb/gewaesserschutzpolitik_d_eu_int/doc/3063.php)

UNESCO-Biosphärenreservate sind international repräsentative Modellregionen. In ihnen wird nachhaltige Entwicklung verwirklicht. Damit werben die UNESCO-Biosphärenreservate für den Ausgleich der häufig konkurrierenden Interessen von Nutzung und Bewahrung, Umweltschutz und Wirtschaft, für ein Zusammenleben von Mensch und Natur.<sup>2</sup>

Das Biosphärenreservat niedersächsisches Wattenmeer ist nahezu flächengleich mit dem gleichnamigen Nationalpark. Die Gezeitendynamik schafft extreme, viermal täglich wechselnde Lebensbedingungen und vielfältige Lebensräume: ständig wasserführende Rinnen, Salzwiesen des Deichvorlandes, verschiedene Inseln. Hier brüten und rasten viele Vogelarten. Insgesamt leben hier wenige, sehr spezialisierte Tierarten - diese aber in sehr großer Menge. . Das Wattenmeer ist eine unserer letzten großräumigen Naturlandschaften - das Gebiet des Biosphärenreservats wurde gemeinsam mit den Wattenmeergebieten in den Niederlanden und in Schleswig-Holstein im Sommer 2009 als UNESCO-Welterbeliste anerkannt.

In diesem Projekt wurde erstmals eine gemeinsame Aufzucht von Muscheln und Makroalgen im Biosphärenreservat Wattenmeer erprobt. Durch diese Form der integrierten Aquakultur, also die kontrollierte Aufzucht von Miesmuscheln und einheimischen Makroalgen, konnten dem Seewasser Nährstoffe entzogen werden. Hierbei wurde das Potential von in der Nord- und Ostsee heimischen Makroalgen ausgenutzt, in kurzer Zeit viel, als Nitrat oder Ammonium vorliegenden, Stickstoff sowie Phosphate aufzunehmen. Das Verfahren arbeitet wartungsarm, als Energiequelle wird Solarstrom genutzt.

Die Effizienz des Verfahrens sollte durch den integrierten Einsatz von Miesmuscheln weiter verbessert werden: Zum einen das Wasser im Sinne des Wortes klären, damit erhalten die Algen bessere Wachstumsbedingungen: Sie benötigen Licht zur Photosynthese, dieses kann ohne die von den Muscheln entfernten Trübstoffe tiefer in die Wassersäule eindringen. Außerdem können die Muscheln auch die in Partikeln gebundenen Nährstoffe aufnehmen und sie in eine für die Algen verwertbare Form überführen. Es wurde hier auf das Wissen von MaRenate bei der Algenzucht und mytilamar bei der Muschelzucht zurückgegriffen.

---

<sup>2</sup> <http://www.unesco.de/biosphaerenreservate.html?&L=0>

Zu diesem Behuf wurde in der -bewirtschaftbaren- Randzone des niedersächsischen Nationalparks Wattenmeer eine Versuchsstation verankert (Abb.1), diese ist im folgenden Methodenteil näher spezifiziert.



Abbildung 1: Die im Bereich der Werft Hooksiel verankerte Versuchsplattform

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Plattform

Die Versuchsplattform trug 4\* 300l Wassertanks, welche abwechselnd mit Muscheln und Algen besetzt waren. Wasser aus 1m Tiefe wurde zweimal täglich in die Muschelbehälter gepumpt und dadurch ein vollständiger Wasseraustausch realisiert. Das Überlaufwasser gelangte in die Algentanks, wodurch auch hier ein vollständiger Wasseraustausch stattfinden konnte. (Abb. 2,3). Das Verfahren ist zum Patent angemeldet<sup>3</sup>.

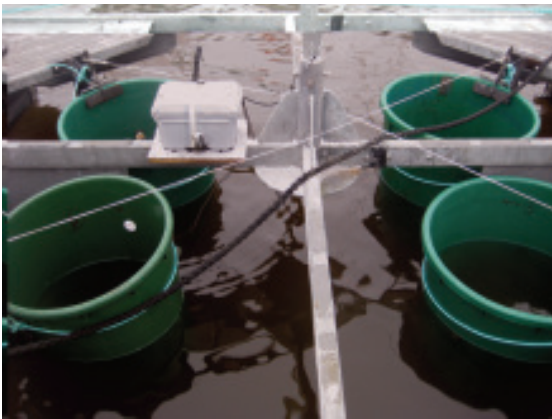


Abbildung 2 zeigt die vier Versuchstanks (grün). In der grauen Box befindet sich die Regelelektronik, Akkuregler und Akku. Nicht im Bild: das Solarpaneel. Abbildung 3 zeigt schematisch den Querschnitt.

Nach der erfolgreichen Verankerung wurden die einzelnen Tanks über die Pumpen mit Seewasser gespült und sowohl mit Muscheln als auch Algen beschickt.

<sup>3</sup> Schuster, W: 102005 037 947.8 DPMA München

## 2.2. Probenahme

Die Probenahme erfolgte in 250ml Polyethylen- Flaschen. Diese wurden vor Ort zweimal gespült und luftblasenfrei gefüllt. Die weitere Verarbeitung der Proben geschah dann zeitnah im Labor. Temperatur und Salzgehalt wurden an der Probenstelle direkt gemessen. Die Proben wurden gemäß Herstellerangaben [Merck] vorbehandelt und ausgewertet: Merck Spectroquant Nitrat-, Phosphat-, Küvettentest für Seewasser, die Proben für CSB5 wurde 1:10 verdünnt, um Chloridionenstörungen zu vermeiden.

Das Messprinzip basiert auf einer chemischen Reaktion der zu messenden Substanzen, verbunden mit einem Farbumschlag. Die Intensität der Färbung ist proportional zur Konzentration des zu bestimmenden Stoffs. Phosphat bildet einen blauen Farbstoff, Nitrat einen entsprechend grünen.

Bei CSB5 wird dagegen die Abnahme eines - nicht oxidierten orangen Farbstoffs bestimmt.

Diese Intensitäten wurden dann spektroskopisch gemessen.

Gemessen wurden neben den „Leitsalzen“ Phosphat und Nitrat auch der chemische Sauerstoffbedarf. Der sogenannte CSB 5 Wert gibt Auskunft, wieviel Sauerstoff in 5 Tagen benötigt wird, um eine Wasserprobe vollständig zu oxidieren und lässt Rückschlüsse über die Wasserqualität zu.

Ab Juli wurden alle Werte doppelt bestimmt, um statistische Artefakte besser eingrenzen zu können.

### 2.3 Algenexperimente

Die für die Versuche benötigten Algen (*Fucus* sp.) wurden in unmittelbarer Nähe gesammelt, von Aufwuchs gereinigt und in die Versuchstanks überführt. Parallel wurden weitere Kulturträger ausgebracht, um flotierende Algensporen zu binden und auf diese Weise einen Vergleich zu den Tank gehaltenen Spezies zu erreichen.

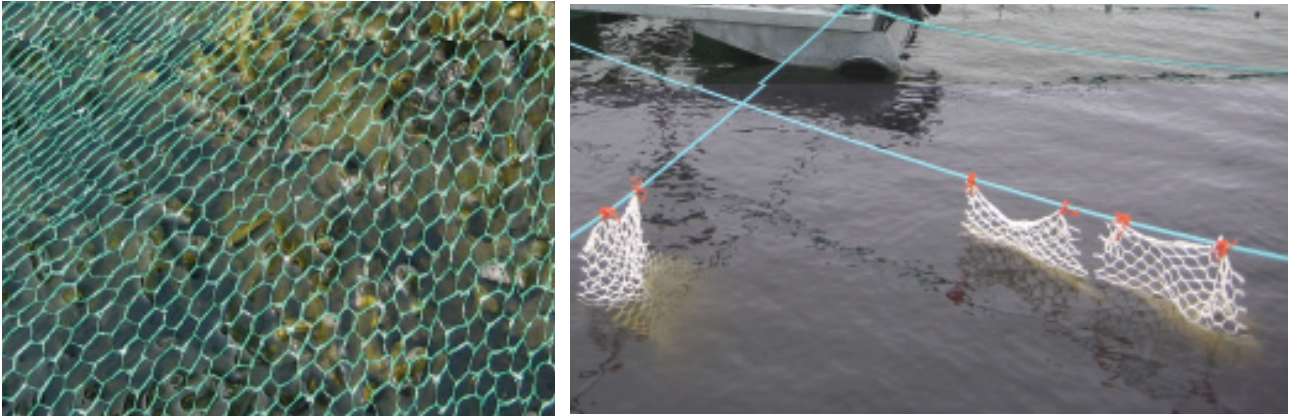


Abbildung 4,5: *Fucus* im Wassertank. Das grüne Netz diente als Schutz vor Wasservögeln, die nicht in den Tank gelangen sollten. Rechts: Kulturnetze für vergleichende Ansiedlungsversuche

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 chemische Wasseruntersuchungen

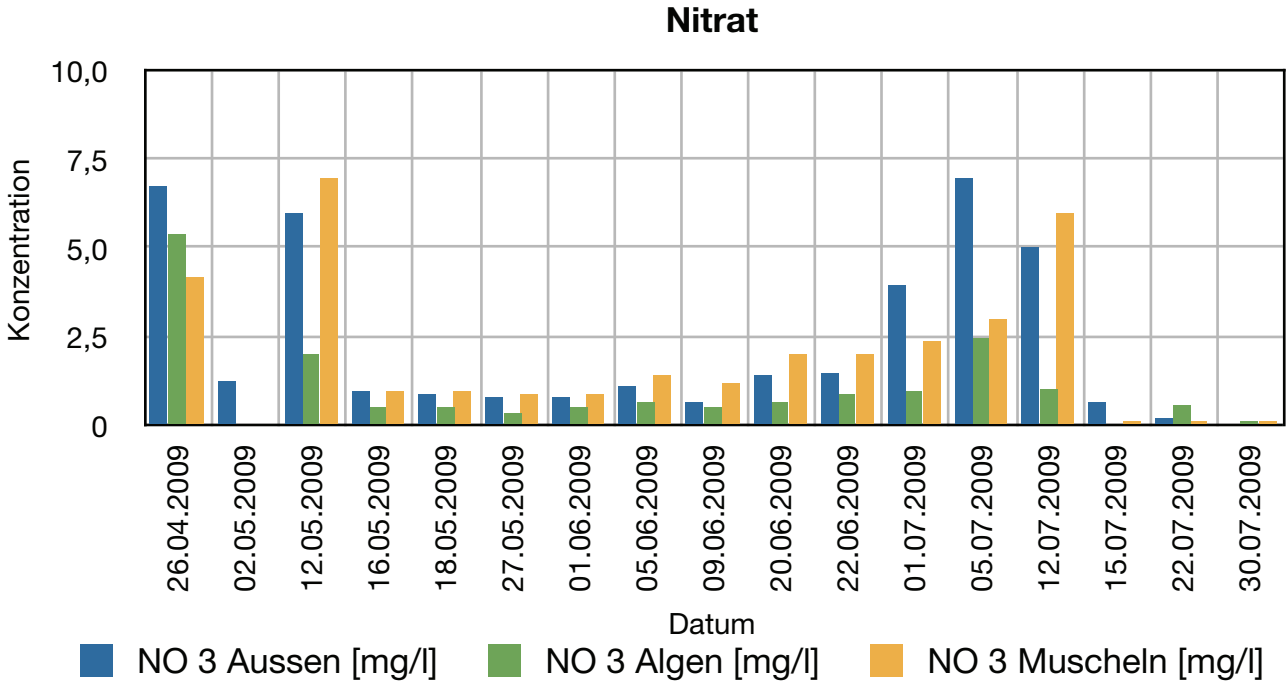


Abbildung 6: zeitlicher Verlauf der Nitrat Konzentration von April bis August 2009.

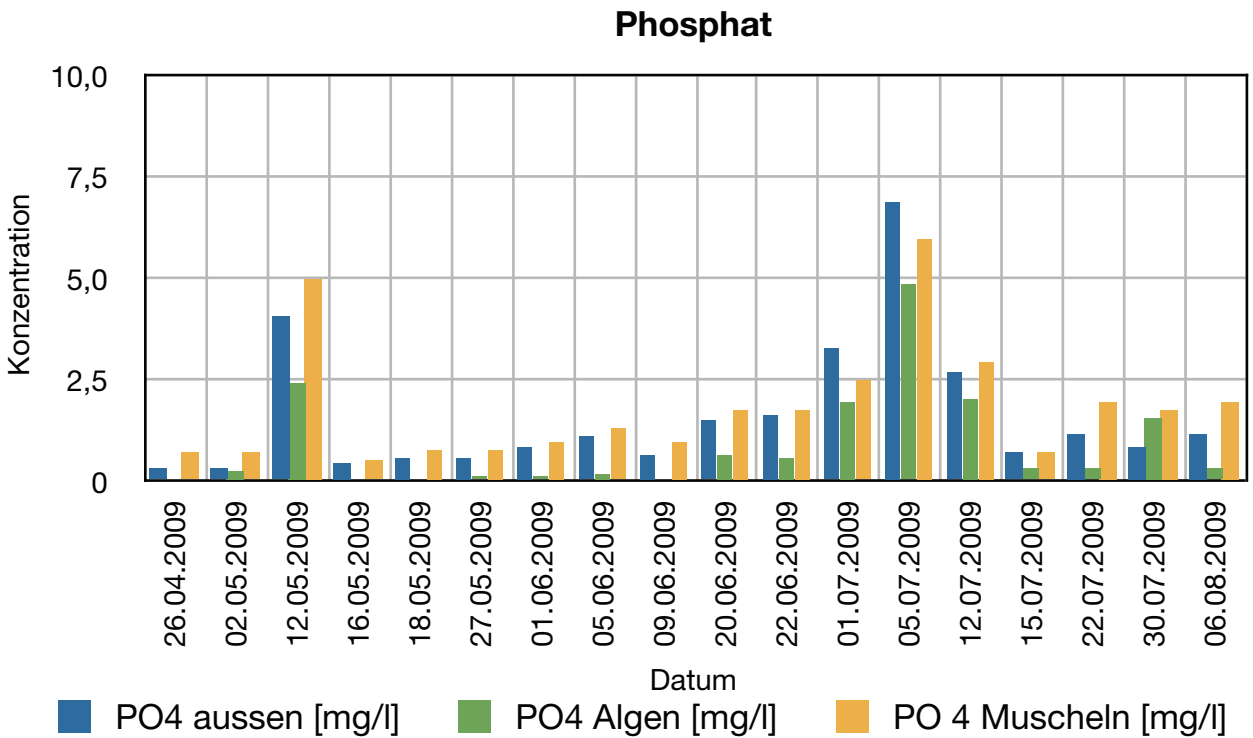


Abbildung 7: zeitlicher Verlauf der Phosphat Konzentration von April bis August 2009.

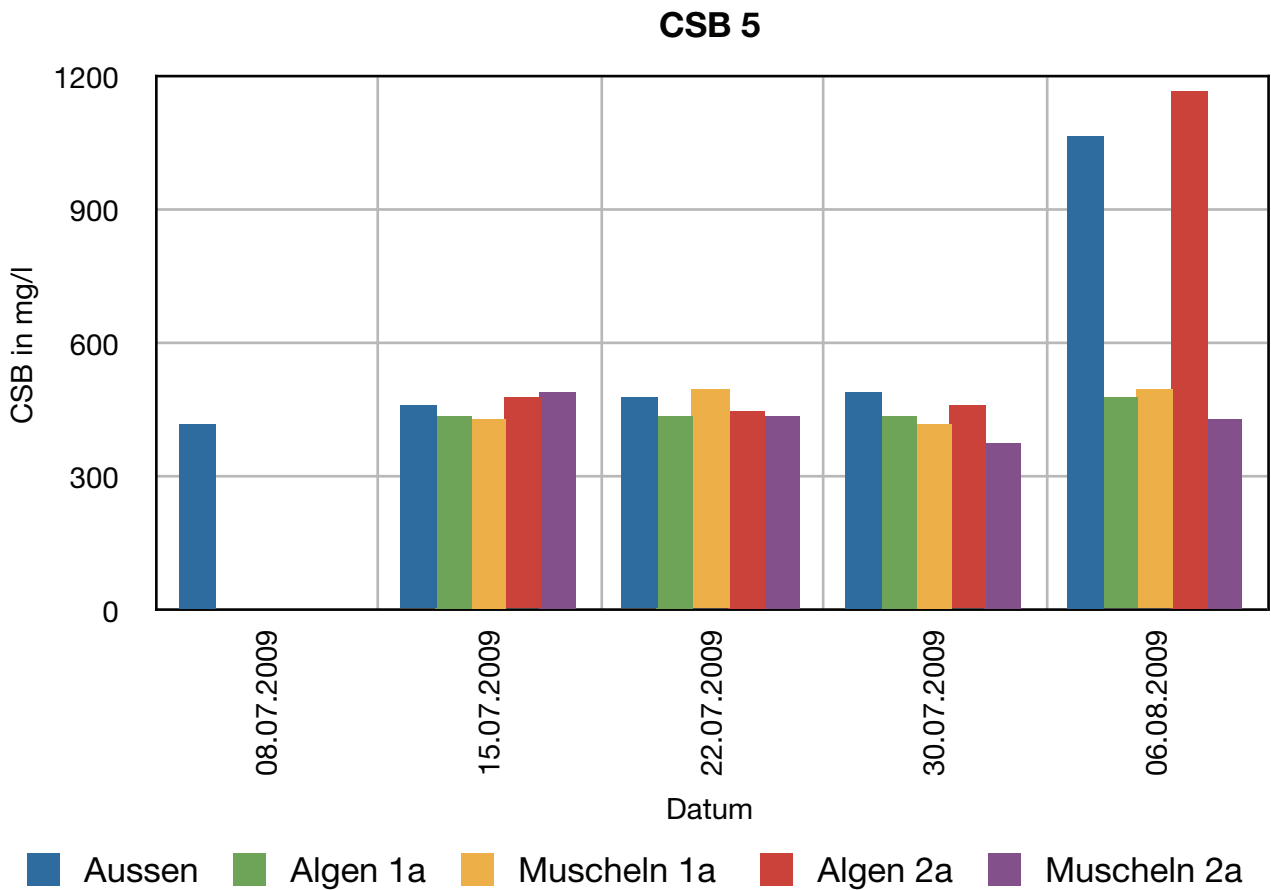


Abb.8. zeitlicher Verlauf CSB5

In den Abbildungen 6,7 wurden die Messergebnisse jeweils für beide Versuchsreihen zusammengefasst. Abbildung 8 zeigt, daß Störungen (hier: Eindringen und Verwesung eines Frosches) sich massiv auswirken können. Die Versuchsergebnisse insgesamt zeigen, daß das Verfahren wie geplant funktioniert: Die Muscheln setzen zusätzlich gebundene Nährstoffe frei, welche von den Algen dann in Biomasse umgesetzt werden können.

Die Biomasse der Makroalgen nahm von April bis Juli um insgesamt 30% zu. Die Algen in Tank 2a gingen durch die Verwesung des Frosches unter.

Im Laufe des Sommers siedelten sich in den Tanks auch planktonische Organismen an. Zusätzliche Einleitungen, wie am 6.8. 09, zeigen sich deutlich in der Kurve, das Verfahren kann also unter normalen Bedingungen solche Einleitungen puffern.

## 3.2. physikalische Wasseruntersuchungen

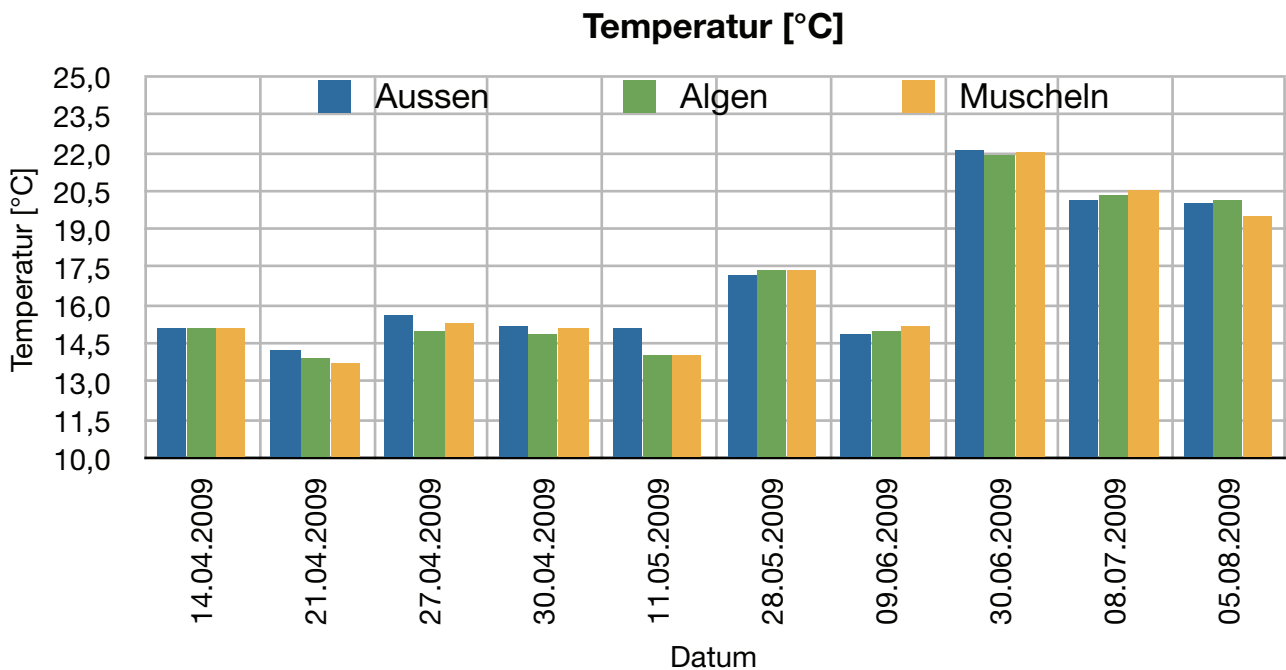


Abbildung 9: Temperaturverlauf in den Tanks (gemittelt) und im Hooksmeer

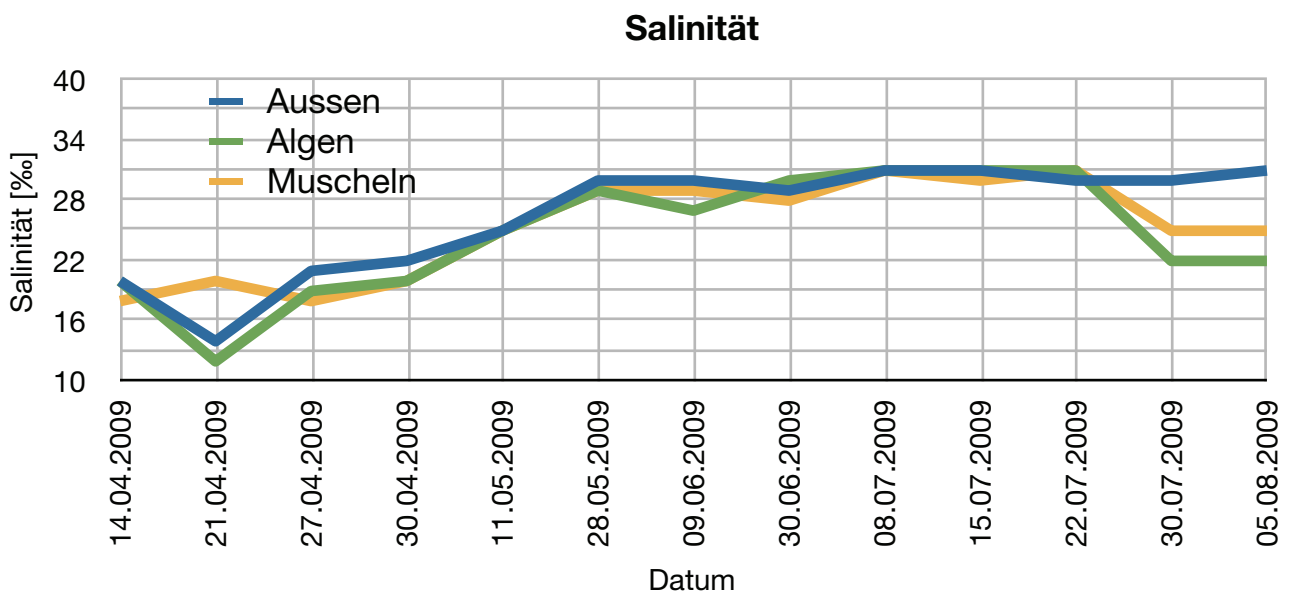


Abbildung 10: Salinitätsverlauf in den Tanks (gemittelt) und im Hooksmeer

Die Temperatur stieg zur Jahresmitte an. Die Differenzen lassen sich durch Eigenbeschattung der Tanks erklären, die Salinitätsschwankungen könne zwei Ursachen haben: einerseits wurde punktuelle gemessen, so daß Regenfälle das Wasser inden Tanks aussüßte. Andererseits wird das Hooksmeer über die Schleuse an zwei Tagen entwässert, an zwei Tagen mit frischem Jadewasser versorgt. Dieses geschieht tideabhängig und dient ebenfalls der De-Eutrophierung.

### 3.3 Vergleichende Ansiedlungsversuche

Zur weiteren Optimierung des Verfahrens wurde geprüft, ob sich Makroalgen an geeigneten Substraten im Hooksmeer ansiedeln würden. dadurch liessen sich die Installations- und Wartungskosten verringern. Vorversuche mit den selben Substraten zeigten 2007 im Bereich der Jade eine deutliche Besiedlung mit Ulvaceen. (Abb. 11, rechts). Abb. 11 links zeigt vergleichbare Trägerplatten, bei vergleichbarer Exposition. Hier besiedelten nur *Cordylophora sp.*, also Hydrozoen die Flächen. Dieses ist vermutlich auf die geringe Lichteindringtiefe zurückzuführen. Sie betrug im Juli 2009 0,2m.



Abb.11 links: Algenanzuchtplatten nach 4 Monaten im Hooksmeer, rechts, Algenanzuchtplatten nach 4 Monaten in der Jade.

## 3.4 Störeinflüsse

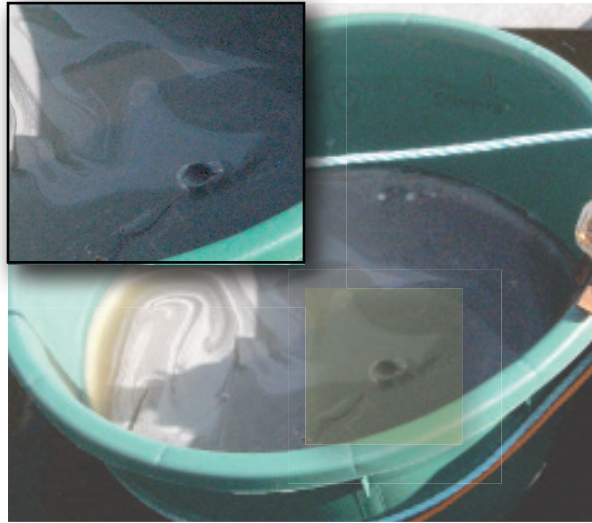


Abb.12: Weil die in Abb. 4 gezeigte Schutzeinrichtung fehlte, konnte ein nicht mehr bestimmbarer Frosch in einen Algen-tank gelangen.



Abbildung 13: Sommerregen

## 4. Zusammenfassung Algenteil

Der vorgestellte Versuch verbessert die Selbstreinigungskraft des Wattenmeeres und stabilisiert damit seine Biodiversität.

Es konnte im Mittel der Versuche/Messungen 80% des Nitrats und 89% der Phosphate entzogen werden, diese entspricht bei einer Laufzeit von 180 Tagen 800kg Nitrat und 400kg Phosphat aus 215 qm Wasser.

Schwierig war die Situation mit dem stark schwankenden Salzgehalt als Folge der Entwässerungsroutine im Hooksmeer: Zur Verbesserung der Wasserqualität wird -in der Vorsaison- das Hooksmeerwasser an drei Tagen mit dem ablaufenden Hochwasser über die geöffneten Schleusen nach aussen geleitet;

an drei Tagen das auflaufende, potentiell nährstoffarme und frische Nordseewasser in das Hooksmeer geleitet.

Durch die diskontinuierliche Pumpsituation konnte bei Regen der Salzgehalt in den einzelnen Tanks abnehmen.

Für die verwendeten Makroalgen sollte diese Situation nicht problematisch sein, da sie auch im Freiland extreme Lebensräume besiedeln.

In vergleichenden Versuchen in der Jade konnten Makroalgen an Substraten kultiviert werden. Dieses gelang nicht im deutlich stärker getrübbten Hooksmeerwasser. Hier erwies sich der Einsatz von Muscheln als hilfreich.

## 5. Öffentlichkeitsarbeit

Jeversches Wochenblatt vom 21.2.2009, Seite 6

Posterbeitrag und Workshop „Neues aus dem Meer“ 1.7.09 Büsum, 200 Teilnehmer  
Neues aus dem Meer ist eine jährlich in Büsum stattfindende Veranstaltung der Wirtschaftsförderung Schleswig Holsteins<sup>4</sup>. In diesem Jahr war die marine Aquakultur ein Schwerpunkt. In der Postersession konnten zahlreiche Fragen gestellt und beantwortet werden.

Artikel in Havenlicht (Kundenzeitung des lokalen Energie- und Wasserversorgers GEW Wilhelmshaven). Die GEW<sup>5</sup> unterstützte die Versuche durch unentgeltliche Bereitstellung geeigneter Werkstadträume, Personal und Sachmittel. Erscheinungstermin: Oktober 2009.

Artikel in den DGM -Mitteilungen: Die Deutsche Gesellschaft für Meeresforschung<sup>6</sup> veröffentlichen vier Mal jährlich die „DGM- Mitteilungen“. Eine Zusammenfassung dieses Berichts wird ebenfalls im Oktober 2009 veröffentlicht.

Mehrfache Nennung bei [www.marenate.eu](http://www.marenate.eu), Newsletter

---

<sup>4</sup> <http://www.wtsh.de>

<sup>5</sup> <http://www.gew-wilhelmshaven.de/>

<sup>6</sup> <http://www.dg-meeresforschung.de/>

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2. Material und Methoden</b>	<b>4</b>
2.1 Plattform	4
2.2. Probenahme	5
2.3 Algenexperimente	6
<b>3. Ergebnisse</b>	<b>8</b>
3.1 chemische Wasseruntersuchungen	8
3.2. physikalische Wasseruntersuchungen	9
3.3 Vergleichende Ansiedlungsversuche	10
3.4 Störeinflüsse	11
<b>4. Zusammenfassung Algenteil</b>	<b>11</b>
<b>5. Öffentlichkeitsarbeit</b>	<b>12</b>



## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1</b>	<b>Das Wasserreinigungsprinzip .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>Muschelexperimente .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Wachstumsmessungen .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Ansiedlung von Miesmuscheln .....</b>	<b>19</b>
<b>3</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Versuch 1 .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Versuch 2 .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Versuch 3 .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1.4</b>	<b>Versuch 4 .....</b>	<b>23</b>
<b>3.1.5</b>	<b>Versuch 1-4 .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2</b>	<b>Wachstum von Muscheln außerhalb der Reinigungscontainer .....</b>	<b>26</b>
<b>3.3</b>	<b>Muschelansiedlung im Hooksmeer .....</b>	<b>27</b>
<b>4</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>28</b>
<b>4.1</b>	<b>Algenfilter .....</b>	<b>28</b>
<b>4.2</b>	<b>Muschelfilter .....</b>	<b>29</b>
<b>4.3</b>	<b>Muschel- und Algenfilter .....</b>	<b>30</b>
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerungen .....</b>	<b>31</b>
<b>6</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>32</b>

## **Verbesserung der Selbstreinigung von Küstengewässern durch integrierte Aquakultur**

### **1 Einleitung**

#### **Das Wasserreinigungsprinzip**

basiert auf der Kultivierung von Meeresalgen (Makroalgen) in halb geschlossenen Tanksystemen: Diese können in kurzer Zeit bis zu 80% der Nährstoffe aus dem umgebenden Wasser entziehen und zu wertvoller Biomasse umwandeln. Hierbei wird das Potential von in der Nord- und Ostsee heimischen Makroalgen ausgenutzt, in kurzer Zeit viel, als Nitrat oder Ammonium vorliegenden, Stickstoff sowie Phosphate aufzunehmen. Dabei wachsen sie 3-4 mal schneller als vergleichbare Landpflanzen. Das Verfahren arbeitet wartungsarm, als Energiequelle wird Solarstrom genutzt.

Die Effizienz des Verfahrens wird durch den Einsatz von Miesmuscheln weiter verbessert: Zum einen wird das Wasser im Sinne des Wortes geklärt, damit erhalten die Algen verbesserte Wachstumsbedingungen: Sie benötigen Licht zur Photosynthese, dieses kann ohne die von den Muscheln entfernten Trübstoffe tiefer in die Wassersäule eindringen. Außerdem können die Muscheln auch die an Partikel „gebundenen“ Nährstoffe aufnehmen und sie in eine für die Algen verwertbare Form überführen.

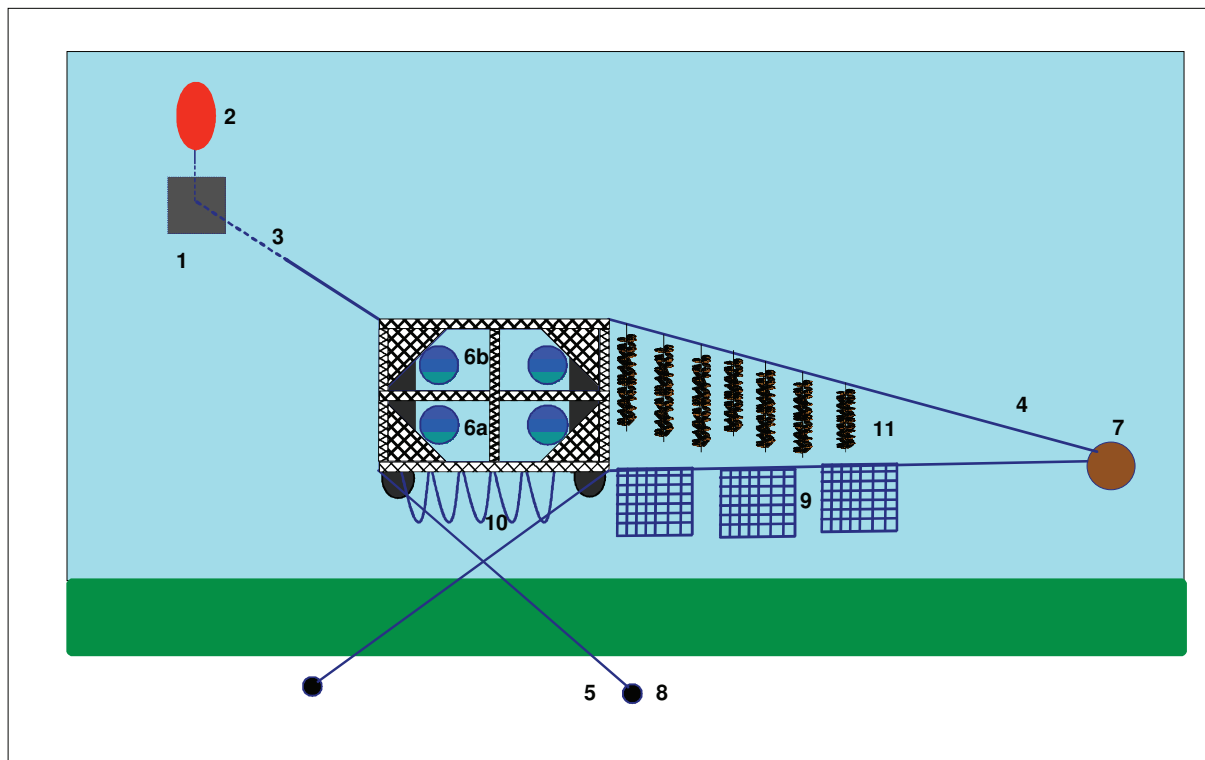
Zu diesem Zweck wurde vor die jeweiligen Algenkulturtanks eine Muschelkultur angebracht. Ein 4 mal 6 Meter großer Ponton wurde in der Nähe der Schleuse im “Hooksmeer” eingesetzt (siehe Abbildung 1). Es ist an Land an Pfählen und seewärts an einem Ankerstein verankert. Das Ponton trägt die Kulturtanks mit den Muscheln und Algen (siehe Abbildung 2-4).



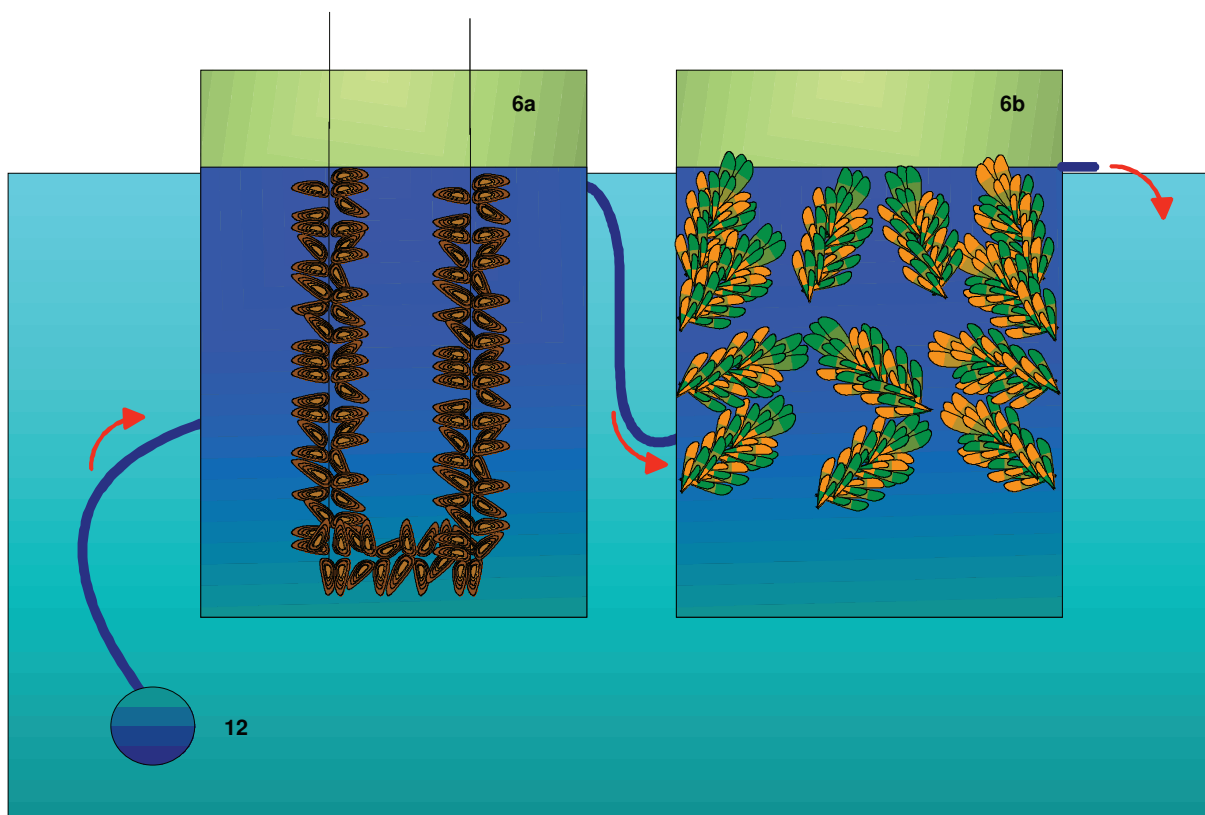
**Abb. 1.** ● Lage des Wasserreinigungsexperiments am östlichen Ausgang des Hookmeers zur Jade.



**Abb. 2.** Erfolgreicher Einsatz des Pontons im zweiten Versuch am 28. Januar 2009. A: Anheben des Pontons mit dem Kran der Werft Hooksiel. B: Schleppen des Grundgewichtes und des Pontons mittels „Argus“ (Niedersachsen Port) in Position. C: Ponton endgültig vertäut. D: Detailansicht der vier Hälterungsgefäße.



**Abb. 3.** Floß mit Ankerstein (1) und Markierungsboje (2), Vertäuung (3, 4 und 5), Hälterungsbecken (6a für Muscheln; 6b für Algen), Befestigungspoller (7), Pfähle (8), Netzkollektoren zur Anzucht von Makroalgen (9), Taukollektoren zur Anzucht von Miesmuscheln (10), Muschelstrümpfe (11).



**Abb. 4.** Fließschema: von der Pumpe (12) durch den Muscheltank (6a) und den Algentank (6b). Pfeile geben Fließrichtung an.

## 2 Muschelexperimente

Im Verlauf der Erprobung der Wasserreinigungsanlage im Hooksmeer sollten das Muschelkompartiment erprobt und die Muschelmenge in Relation zur Reinigungsleistung optimiert werden. Dazu sollte in mehreren Versuchsdurchgängen verschiedene Muschelmengen pro Reinigungsbecken eingesetzt und deren Wachstumsleistung ermittelt werden.

**Tab. 1.** Übersicht über die Versuche mit Miesmuscheln (Besatz- und Entnahmedatum, Muschelmenge pro Reinigungsbecken).

Versuch#	Besatz: Muscheln rein		Ende: Muscheln raus
	Datum	[g]	Datum
V1-4000	17.02.09	4000	06.03.09
V2-2000	14.04.09	2000	30.04.09
V2-1000	14.04.09	1000	11.05.09
V3-750	28.05.09	750	30.06.09
V3-500	28.05.09	500	30.06.09
V4-750	08.07.09	750	05.08.09
V4-500	08.07.09	500	05.08.09

Zwischen Februar und August 2009 wurden insgesamt vier Durchläufe mit 500 – 4.000 g Miesmuscheln (s. Tab. 1) durchgeführt und die Entwicklung der Muscheln verfolgt.

Die Muscheln für diese Experimente stammten von einer Hängekultur, die vom Auftragnehmer an der Verladebrücke der Nord-West-Ölleitungsgesellschaft (NWO) betrieben wurde. Die Muscheln hatten sich 2008 an mehreren Taukollektoren angesiedelt, sie waren beim Beginn der Experimente knapp ein Jahr alt. Die Muscheln wurden in sog. Muschelstrümpfen (Abb. 5A) mit bekannter Muscheldichte eingefüllt. Zwei Muschelstrümpfe mit jeweils 4 kg Muscheln wurden im ersten Versuch (V1) in die Reinigungsbecken überführt.

Weitere sechs Strümpfe wurden als Vorrat für spätere Versuche (V2-4) an den Befestigungsleinen des Pontons befestigt (Abb. 5C). Außerdem lieferten diese Muscheln auch längerfristige Wachstumsdaten, die über die generelle Nahrungssituation am Untersuchungsstandort Auskunft gaben.

### 2.1 Wachstumsmessungen

Zu Beginn eines jeden Experimentes, das jeweils über eine Dauer von 4 Wochen geplant war, wurde die Schalenlänge der Muscheln mittels Schieblehre vermessen.

Es wurden nur Muscheln mit mehr als 25 mm bis maximal 53 mm Schalenlänge eingesetzt. Die Minimallänge wurde so gewählt, damit die Versuchsergebnisse nicht durch Verluste kleinerer Muscheln, die durch die Strumpfmaschinen fallen konnten, beeinflusst würden. Die mittlere Schalenlänge samt Standardabweichung wurde errechnet und die Längen-Häufigkeitsverteilung grafisch dargestellt.

Neben dem Schalenparameter wurde auch der Fleischgehalt der Muscheln bestimmt, um Veränderungen während der Versuchsdauer feststellen zu können. Dazu wurden pro Probe sechs Muscheln mit repräsentativer Schalenlänge aus den zur Verfügung stehenden Muscheln ausgewählt und für fünf Minuten gekocht (Abb. 5D). Der Fleischkörper wurde auf Fließpapier abgetropft und das Fleischgewicht auf einer Waage (Kern PCB-1000-2) ermittelt. Aus dem Frischgewicht der lebenden Muscheln und dem Fleischgewicht wurde der Fleischgehalt errechnet. Aus jeweils sechs Parallelproben wurde der mittlere Fleischgehalt bestimmt.



**Abb. 5.** A: Einsatz eines „Muschelstrumpfes“. B: Quertau als Ansiedlungssubstrat im Februar 2009 . C: Vorratsmuschelstrümpfe und Kollektoren. D: Muschelproben nachdem sie für die Bestimmung des Fleischgehaltes gekocht wurden.

## **2.2 Ansiedlung von Miesmuscheln**

Um der Frage nachzugehen, ob eine Versorgung von Wasserreinigungsinstallationen mit Muscheln aus dem Hooksmeer möglich wäre, wurde die Besiedlung von künstlichen Substraten mit Miesmuscheln verfolgt. Dazu wurde ein Kollektorseil am Ponton angebracht. In dieses Tau (Polypropylen,  $\varnothing$  10 mm, schwarz) waren jeweils drei 15 cm kurze Quertaue (Büschel) aus gleichem Material eingeschoben. Die Quertaue waren ausgefasert (Abb. 5B), um als Nachbildung fädiger Algen (Tortell 1976), die als natürliches Ansiedlungssubstrat dienen, für Miesmuschellarven möglichst attraktiv zu sein. Monatlich wurde dieses "Monatsseil" mit den drei Büscheln ausgetauscht und die Anzahl der angesiedelten Jungmuscheln auf den Büscheln bestimmt und auf einen Meter Kollektorlänge berechnet.

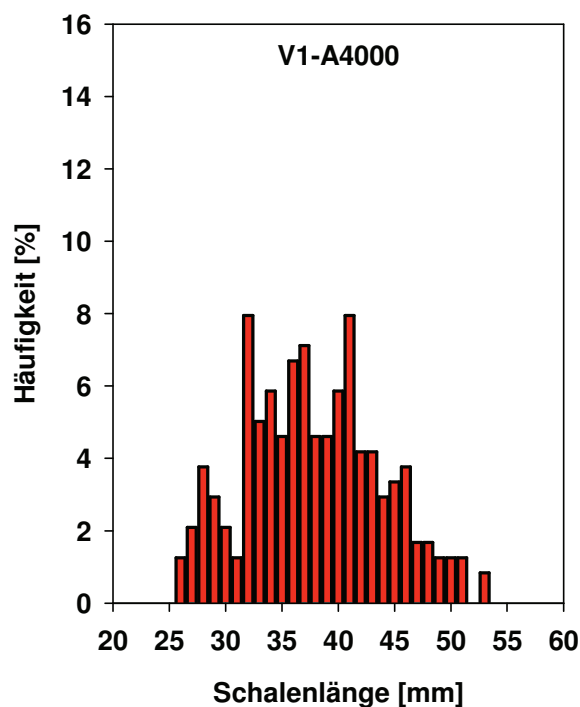
Die bewachsenen Büschel wurden dazu im Labor mittels eines scharfen Wasserstrahls vom gesamten Bewuchs befreit. Kurze Tauchbäder in verdünnter Natriumhypochloritlösung erleichterten die Ablösung der Byssusfäden vom Tau. Die Miesmuscheln wurden vom sonstigen Bewuchs getrennt, gezählt und vermessen.

## **3 Ergebnisse**

### **3.1 Muschelexperimente**

#### **3.1.1 Versuch 1**

Das erste Experiment wurde am 17. Februar mit jeweils 4000 g Muscheln oder ca. 850 Individuen gestartet. Die Muscheln wiesen eine Ausgangsgröße von 37,3 mm auf (die Längen-Häufigkeitsverteilung zeigt Abb. 6), ihr Fleischgehalt lag saisonal bedingt niedrig bei 13,6%. Im Verlauf der zweiten Märzhälfte wurde deutlich, dass diese Muschelmasse pro Strumpf bei der gewählten Pumprate von 2 x 5 Minuten pro Tag (250 L/Tag) zu gering war. Als Folge vergifteten sich die Muscheln nach und nach an ihren eigenen Stoffwechselprodukten. Deutlich wurde dieses am zunehmend trüben Wasser in den Muschelbecken und dem fauligen Geruch, der sich verbreitete. Beim Herausnehmen der Strümpfe zeigte sich, dass sämtliche Muscheln geöffnet waren und die Fleischkörper schon weitestgehend abgebaut waren.



**Abb. 6.** Längen-Häufigkeitsverteilung der Miesmuscheln am Beginn des Versuches mit 4000 g Muscheln pro Strumpf (Anzahl gemessener Muscheln, und Mittelwert s. Tab. 2, S. 25).

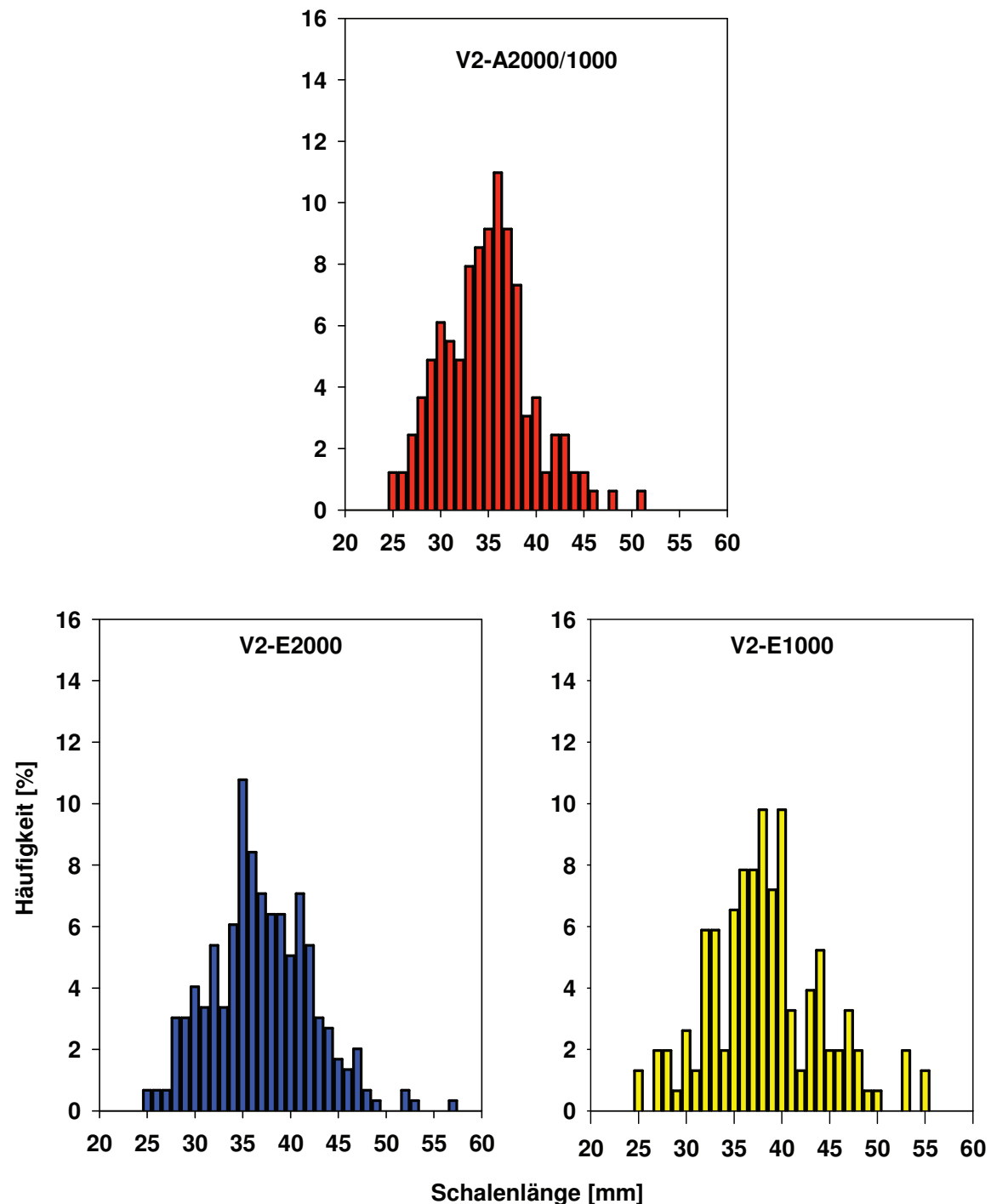
### 3.1.2 Versuch 2

Im zweiten Experiment ab dem 14. April wurde die Muschelmasse auf 2000 g (407 Exemplare) bzw. auf 1000 g (173 Ex.) reduziert (Tab. 2). Die Muscheln wiesen eine Ausgangsgröße von 34,3 mm auf (die Längen-Häufigkeitsverteilung zeigt Abb. 7), ihr Fleischgehalt lag nach der einsetzenden Frühlingsblüte mit fast 24% deutlich höher als beim ersten Versuch.

Am 21. April sahen die Muschelstrümpfe zufrieden stellend aus (Abb. 8C). Die Muscheln hatten ihre Schalen zum Filtrieren geöffnet und das Wasser war klar und geruchlos. Aber schon Ende April war das Wasser im Muschelbecken, das 2 kg Muscheln enthielt getrübt. Um nicht wieder einen Totalverlust zu erleiden, wurde dieser Strumpf geborgen. Die Mortalität lag schon bei 27% der Individuen. Die noch lebenden Muscheln waren in der Zwischenzeit um zwei mm gewachsen (Tab. 2), während der Fleischgehalt auf 20% zurückgegangen war.

Die Muscheln aus dem Becken mit 1 kg Muscheln wurden planmäßig nach vier Wochen geborgen (Abb. 8A). Die Mortalität lag unter 5%. Die Muscheln waren innerhalb eines Monats um etwa 3,5 mm gewachsen (Abb. 7, Tab. 2). Die

Ernährungslage war jedoch nicht gut genug, sodass das Schalenwachstum zu Lasten der Entwicklung des Fleischgehaltes ging. Er war auf 18% weiter gesunken.



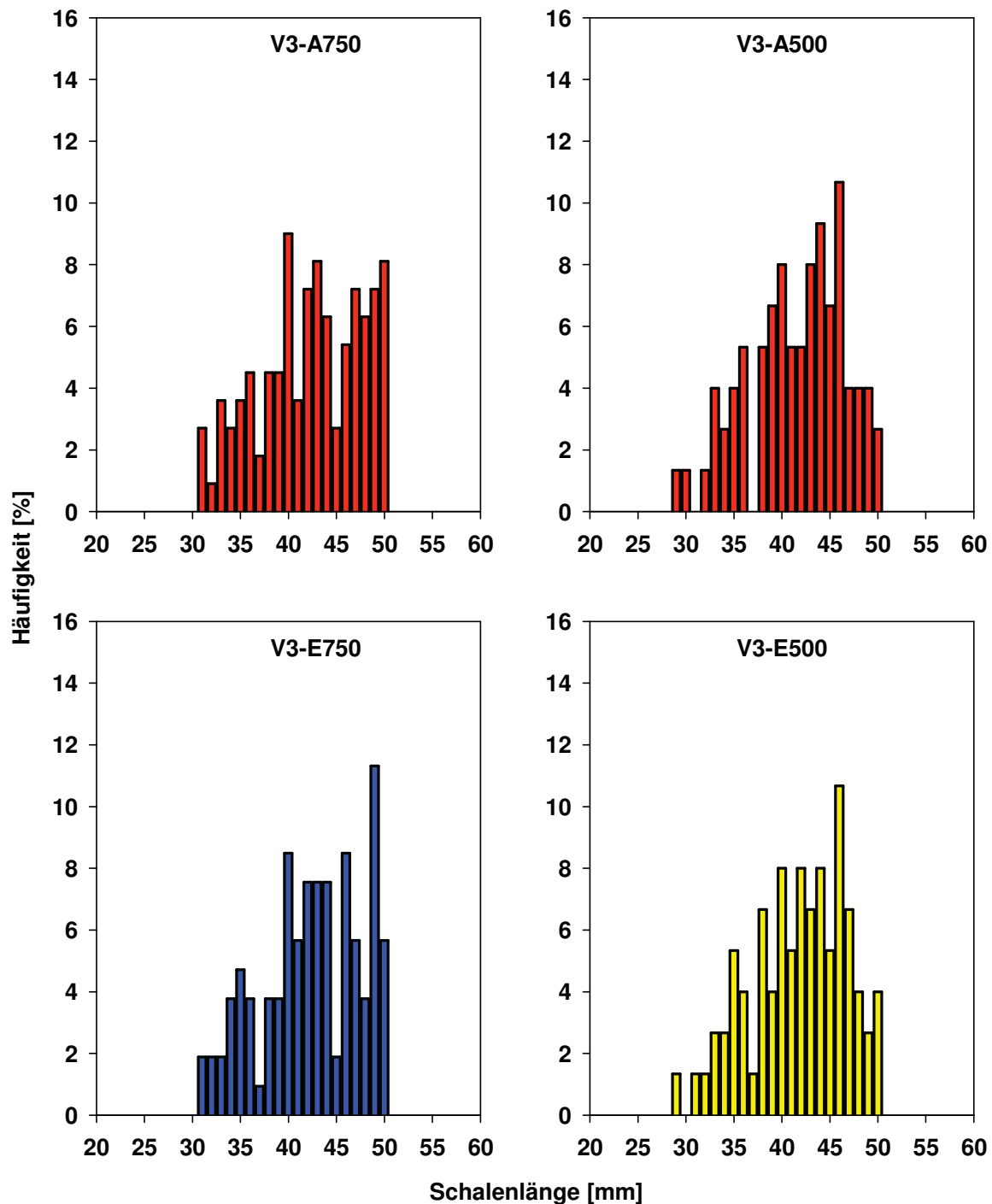
**Abb. 7.** Längen-Häufigkeitsverteilung der Miesmuscheln am Beginn des Versuches (rot) und am Ende (blau 2000 g; gelb 1000g Muscheln pro Strumpf) (Anzahl gemessener Muscheln, und Mittelwerte s. Tab. 2, S. 25).



**Abb. 8.** A: Vermessene Muscheln (11.5. 09). B: Muschelkollektor mit Sandklaffmuscheln besiedelt (30.6. 09). C: Muschelstrumpf am 21. April im Behälter. D: Detailaufnahme der Sandklaffmuscheln am 9. Juni.

### 3.1.3 Versuch 3

Im dritten Experiment wurde die Besatzmenge weiter auf 750 g (111 Ex.) bzw. 500 g (76 Ex.) verringert. Die Mortalität war gering (1,5 – 4,5%), die Nahrungsversorgung reichte aus, um die Muscheln überleben zu lassen. Die Muschelbiomasse nahm sogar geringfügig um 3% (750g) und 4% (500g) zu. Die mittlere Schalenlänge stagnierte weitgehend (Abb. 9), bei einem sinkenden Fleischgehalt von 16,5% zu Experimentbeginn auf 12,2% bzw. 10,8% nach einem Monat (Tab. 2).

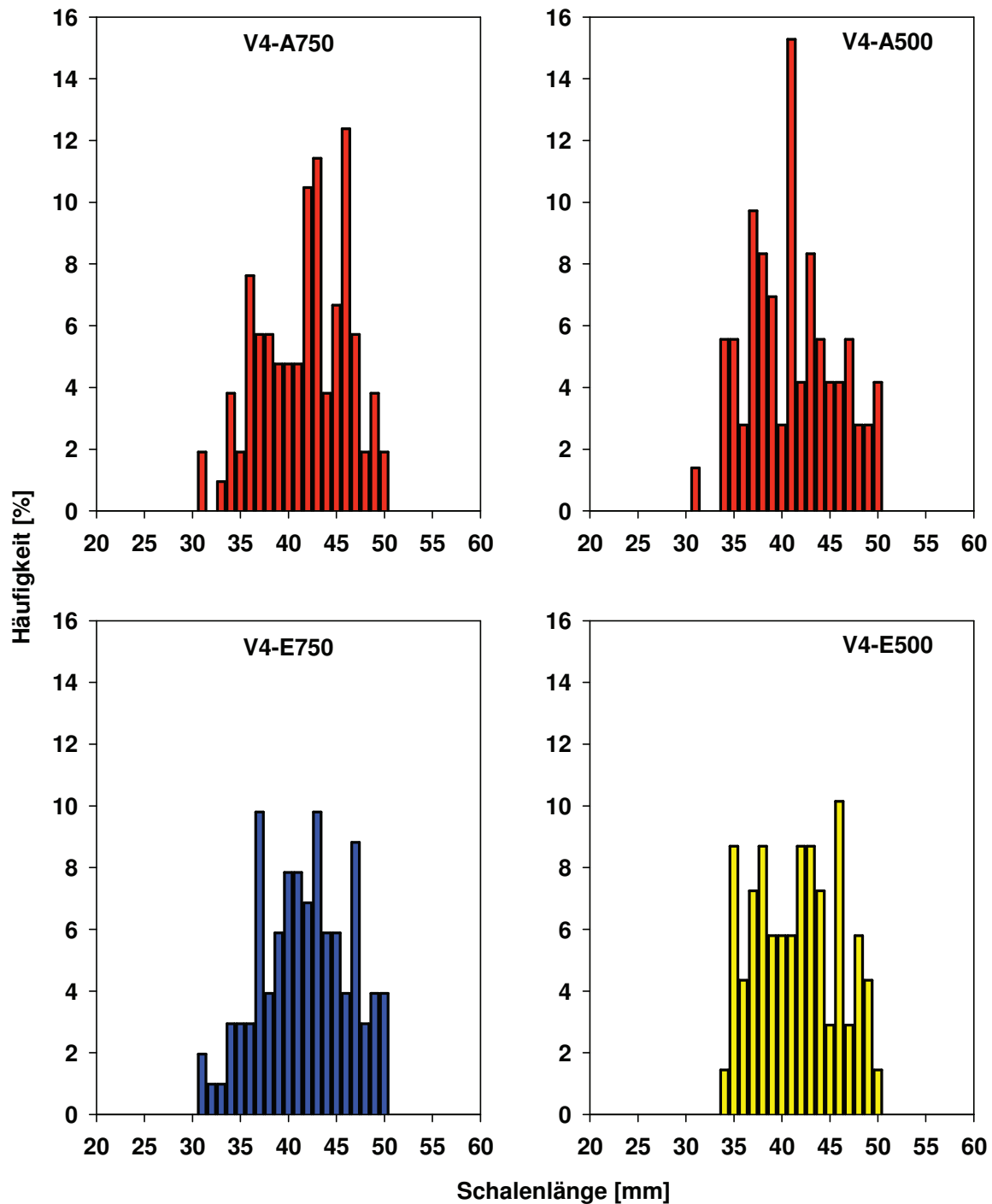


**Abb. 9.** Längen-Häufigkeitsverteilung der Miesmuscheln am Beginn des Versuches (rot) und am Ende (blau 750 g; gelb 500g Muscheln pro Strumpf) (Anzahl gemessener Muscheln, und Mittelwerte s. Tab. 2, S. 25).

### 3.1.4 Versuch 4

Zur weiteren Optimierung wurde die Muschelbiomasse nicht weiter verringert, sondern die tägliche Pumpmenge auf 2 x 10 Minuten (500 L/Tag) verdoppelt. Die Sterblichkeit war wieder gering am Ende des Monats (3-4%). Die mittlere Größe der

Muscheln stagnierte im Gefäß mit 750 g Muscheln, während die Länge der Muscheln im 500 g Gefäß geringfügig zunahm (Abb. 10, Tab. 2). Entsprechend nahm auch der Fleischgehalt der Muscheln von 19,1% auf 17,4% (750 g) ab, bzw. blieb bei 500 g Muscheln gleich.



**Abb. 10.** Längen-Häufigkeitsverteilung der Miesmuscheln am Beginn des Versuches (rot) und am Ende (blau 750 g; gelb 500g Muscheln pro Strumpf) (Anzahl gemessener Muscheln, und Mittelwerte s. Tab. 2, S. 25).

### 3.1.5 Versuch 1-4

Die zusammengefassten Daten aller Experimente zeigt Tab. 2. Als Quintessenz kann festgestellt werden, dass das Verhältnis zwischen der Pumprate und der Muschelbiomasse darüber entscheidet, wie hoch die Sterblichkeit ist, bzw. das Wachstum der Muscheln. Bei der möglichen Pumprate nahm mit der Verringerung der Muschelbiomasse die Sterblichkeit ab und die Wachstumsparameter zu.

**Tab. 2.** Dauer und Besatz der Muschelexperimente sowie relevante Wachstumsparameter.

Versuch #	Besatz: Muscheln rein				
	Datum	[g]	[n]	Fleischgehalt [%]	mittl. Schalenlänge [mm]
V1-4000	17.02.09	4000,00	850	13,6±0,6	37,32±6,01
V2-2000	14.04.09	2003,00	407	23,8±1,4	34,34±4,68
V2-1000	14.04.09	1000,00	173	23,8±1,4	34,34±4,68
V3-750	28.05.09	758,00	111	16,5±1,8	41,85±5,34
V3-500	28.05.09	501,00	76	16,5±1,8	41,10±5,01
V4-750	08.07.09	750,27	105	19,1±0,8	41,19±4,50
V4-500	08.07.09	502,51	72	19,1±0,8	40,58±4,61

Versuch#	Ende: Muscheln raus							
	Datum	lebend [g]	lebend [n]	tot [n]	Sterblichkeit [% von n]	Fleischgehalt [%]	mittl. Schalenlänge [mm]	Schalenwachstum [mm]
V1-4000	06.04.09	0	0	850	100,0			
V2-2000	30.04.09	1282,80	297	110	27,0	20,0±1,2	36,45±5,29	2,11
V2-1000	11.05.09	974,15	165	6	4,6	18,1±0,9	37,79±5,95	3,45
V3-750	30.06.09	780,15	106	5	4,5	12,2±1,5	41,92±5,24	0,07
V3-500	30.06.09	522,18	75	1	1,3	10,8±0,7	41,22±4,99	0,12
V4-750	05.08.09	725,20	102	3	2,9	17,4±1,9	41,24±4,63	0,05
V4-500	05.08.09	483,55	69	3	4,2	18,9±2,0	41,05±4,40	0,47

Verständlich wird dies, wenn man die Filtrationsraten von Miesmuscheln in Relation zu der täglich ausgetauschten Wassermenge setzt. Die Angaben über Filtrationsleistungen von Miesmuscheln sind in der Literatur vielfältig (s. Riisgard 2001), der Schwankungsbereich liegt zwischen 2-8 L/h. Geht man von einem Minimalwert von 2 L/h pro Individuum aus, sind die Muscheln in den Versuchsbehältern in der Lage ein Vielfaches des Wasservolumen durchzufiltrieren, das pro Tag zur Verfügung steht. Bei einem Austauschvolumen von 25L/Min. oder 250 L/Tag (V1-V3) bzw. 500 L/Tag (V4) können die Muscheln das Wasservolumen 14-21 mal am Tag durchfiltrieren (V3), oder 7-10 mal im Versuch 4.

### 3.2 Wachstum von Muscheln außerhalb der Reinigungscontainer

Zum Vergleich mit den kurzfristigen Wachstumsversuchen, wurde die Entwicklung der Längenverteilung von Muscheln festgehalten, die ebenfalls in Strümpfen, aber außerhalb der Reinigungsbehälter an den Befestigungsseilen des Pontons hingen (Abb. 11). Diese Information gibt Aufschluss über die generellen Wachstumsbedingungen für Muscheln, die im Hooksmeer nicht, wie die Muscheln in den Hälterungscontainern, unter einem Mangel an Nahrung litten.

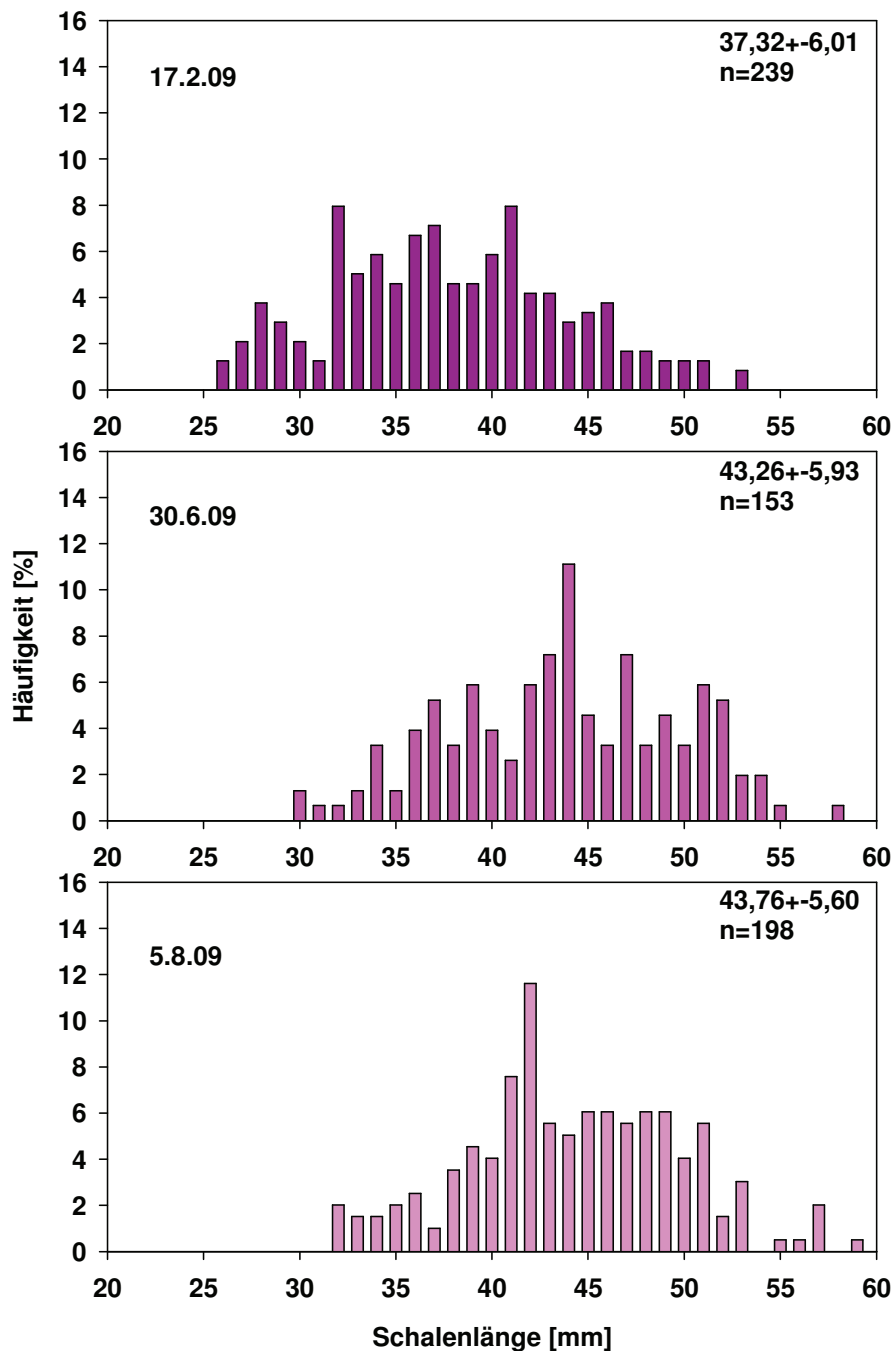
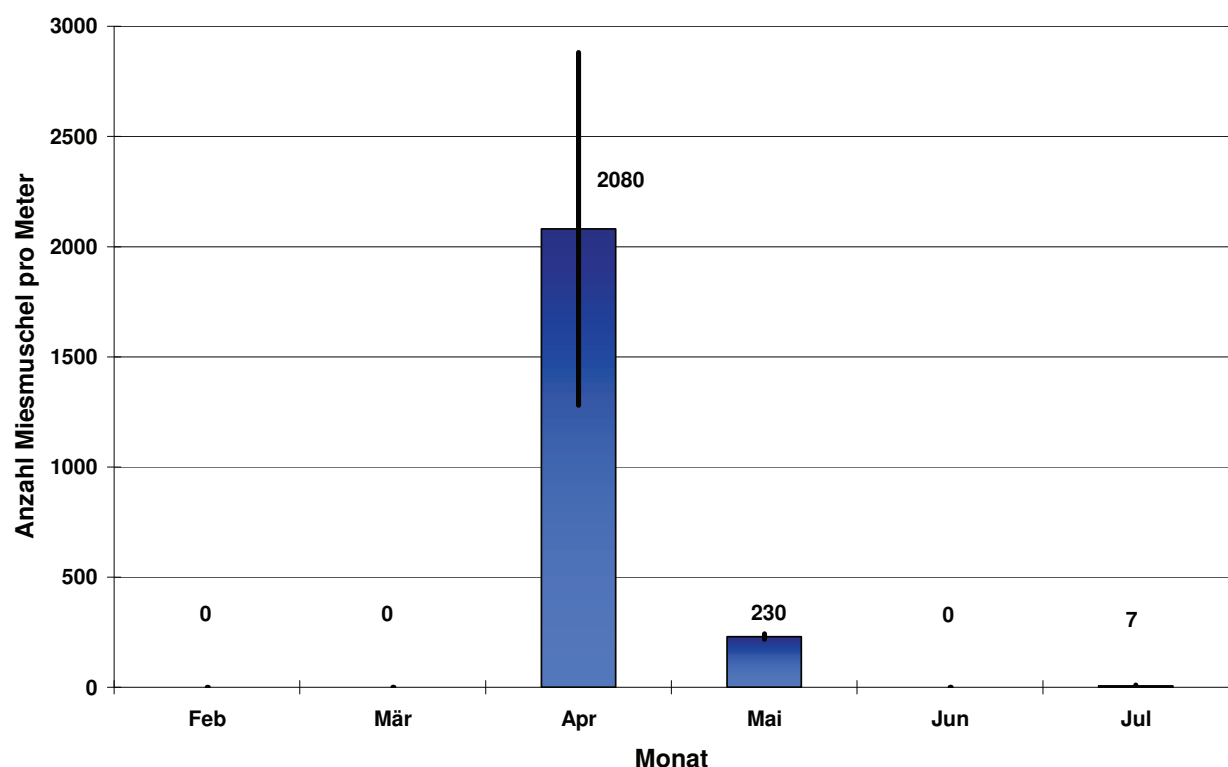


Abb. 11. Längen-Häufigkeitsverteilung der Miesmuscheln außen am Ponton.

Zu Beginn der Untersuchung lag die mittlere Schalenlänge der Muscheln, die von der NWO-Brücke kamen bei ca. 37,3 mm. In den folgenden Monaten nahm die Schalenlänge bis Ende Juni um 6 mm zu, um im Juli nur noch um weitere 0,5 mm weiterzuwachsen.

### 3.3 Muschelansiedlung im Hooksmeer

Die monatliche Ansiedlung von Miesmuscheln (28.1. - 5.8.) zeigt Abb. 12. Sie macht deutlich, dass eine nennenswerte Ansiedlung im Hooksmeer nur im Monat April stattfand. Im Juli konnten noch wenige Neuansiedler festgestellt werden. Mit diesem Ansiedlungsmuster weicht der Standort im Hooksmeer vom langjährigen Monitoringstandort an der NWO-Verladebrücke ab (Walter et al. 2006). In der Jade konnten die Ansiedlungsgipfel in den Jahren 2000 bis 2007 immer im Mai festgestellt werden, mit Monatsmitteln die mit 7.000 – 72.0000 Individuen/m deutlich höher lagen als 2009 im Hooksmeer. Frühe Ansiedlungen im April kamen in einzelnen Jahren durchaus vor, sie waren jedoch in der Jade immer geringer als im Folgemonat.



**Abb. 12.** Anzahl monatlicher Miesmuschelansiedler im Hooksmeer (n=3 für jeden Datenpunkt).

Insofern stellt 2009 eine Ausnahme mit einem früheren Ansiedlungsbeginn dar. Funde von junger 1-2 mm großer Brut auf eulitoralischen Muschelbänken Anfang Mai, die im Zuge des Muschelmonitorings getätigt wurden (Millat, Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer, mündl. Mitteilung), bestätigen eine frühe Besiedlung natürlicher und künstlicher Oberflächen mit Miesmuscheln in diesem Jahr.

Die insgesamt niedrigen Besiedleranzahlen können auf die, vom Schleusenbetrieb verursachte, geringe Wasseraustauschrate mit der Jade, d.h. auf ein geringeres Larvenangebot, zurückzuführen sein.

Auffällig war auch eine starke Besiedlung der Muschelkollektoren (Abb. 8B+D) mit Sandklaffmuscheln (*Mya arenaria*), eine Muschelart, die nur äußerst selten an Muschelkollektoren zu finden ist.

#### **4. Diskussion**

Über den Einsatz von verschiedenen biologischen Filtern, unter Verwendung von Mikroorganismen, Mikroalgen, Großalgen oder Filtrierern wie Schwämmen oder Mollusken gibt es eine Vielzahl von Erfahrungen. In den meisten Fällen wurden sie an limnische oder marine Fischeaquakulturen gekoppelt. Damit ergänzten die Biofilter Kultursysteme, die Nährstoffe im Überfluss in Form von Futterresten bzw. metabolischen Ausscheidungsprodukten, lieferten. Ziel war die Verbesserung der Wasserqualität und damit die Erzeugung eines positiven Erscheinungsbildes der Fischeaquakultur in der Öffentlichkeit. Weiterhin spielten ökonomische Überlegungen, in Zusammenhang mit einer Verbreiterung des Produktspektrums eine Rolle.

Ansätze, um mit biofiltrierenden Organismen andere mit Nährstoffen belastete Gewässer zu entlasten, sind dagegen in der Literatur seltener (s.u.), weil in diesen Fällen der direkte ökonomische Anreiz bisher zu fehlen scheint.

##### **4.1 Algenfilter**

Algenkulturen haben sich in Verbindung mit heterotrophen Aquakulturkandidaten, wie Fischen oder Mollusken, als effektive Nährstoffpumpen erwiesen. Carmona et al. 2006 zeigten, dass *Porphyra* 70-100% des Stickstoffes aus den Abwässern von Fischzuchten binnen 3-4 Tagen entfernen, beim anorganischen Phosphor sind es

35-91%. Somit eignen sich kombinierte Aquakulturen erfolgreich, eutrophierende Effekte der Aquakultur von Fischen etc. zu minimieren.

Andere Algenarten, wie *Ulva*, *Enteromorpha* und *Gracilaria* hatten ihre Eignung schon früher bewiesen (Coen & Neori 1991, Hernández et al. 2002, Martínez-Aragón et al. 2002).

Die Kombination einer Kultur von Lachsen und *Gracilaria* erwies sich als eine umweltfreundliche Aquakulturform (Buschmann et al. 2001). In einem Tanksystem entfernten *Gracilaria* 50% des von Fischen freigesetzten gelösten Ammoniums im Winter und 90-95% im Frühjahr (Troell et al. 1999). Ebenso konnten sie zeigen, dass in Freilandversuchen das Wachstum dieser Algen um 40% höher war in der Anwesenheit von Lachskäfigen, als ohne diese.

Eine höhere Produktion von *Porphyra*, kultiviert in enger Nachbarschaft zu Lachskäfigen, bestätigen Chopin et al. 1999. Eine ähnliche Wachstumsförderung zeigte *Ulva* in einer Kombination mit Abalonen (Neori et al. 1998).

*Gracilaria* zeigte eine höhere Stickstoffentnahme und ein höheres Wachstum mit Zunahme der angebotenen Abwassermenge aus einer Fischzucht (Matos et al. 2006)

Zhou et al. 2006 extrapolierten die mögliche Erntemenge von *Gracilaria lemaneiformis* in räumlicher Nähe zu einer Fischfarm. In einer 1 ha großen Algenzuchtanlage ließen sich 70 t frische Algen, oder 9 t Trockenmasse ernten. Damit würden 0,22 t Stickstoff und 0,03 t Phosphor aus dem Wasser endgültig entfernt werden.

## **4.2 Muschelfilter**

Auch Kulturen von Mollusken haben sich als praktikable Wasserreinigungsorganismen erwiesen. Die Idee, die Wasserqualität in eutrophen Gewässern mit benthischen Suspensionsfressern, wie Herz- oder Miesmuscheln zu verbessern ist nicht neu. Officer et al. 1982 beschrieben die Kontrolle von Phytoplanktonblüten

durch dichte Muschelbestände in der mit kommunalen Abwässern belasteten San Fransisco Bay.

Muscheln können als Filtrierer effizient kleine Partikel aus großen Wasservolumina herausholen. Damit sind sie ideale Organismen zur Wasserbehandlung. Je nach Bestimmungsmethode kann eine etwa 50 mm große *Mytilus edulis* zwischen 2,6 und 7,5 L Wasser pro Stunde durchfiltrieren (Riisgard 2001). Eine Muschel kann somit aus mindestens 50 L Wasser pro Tag alle suspendierten Partikel größer als 1,5 µm im Durchmesser entfernen.

Diese Fähigkeit wurde im Zusammenhang mit Seerestaurationsprogrammen in den Niederlanden genutzt. Dort haben sich Dreikantmuscheln (*Dreissena polymorpha*) als effektive Phosphat-Pumpen erwiesen, die an Partikeln gebundenes Phosphat aus der Wassersäule entfernen und dem Sediment zuführen (Reeders & de Vaate 1990).

In einem Modell hat Haamer (1996) nachgewiesen, dass die Kanalisierung des Flusses von organischer Materie und Nährstoffen in Muschelfarmen, und die spätere Ernte der Muscheln zu einer Reduktion der Nährstoffkonzentrationen und des Sauerstoffbedarfes in einem schwedischen Fjord führt. Eine Nutzung von 1-2% der Fjordfläche für Muschelkulturen würde ausreichen, um die Konzentration von partikulären anorganischen Stickstoffverbindungen im Fjord um 20% zu senken.

### **4.3 Muschel- und Algenfilter**

Die Kombination von zwei unterschiedlichen Organismen, die Nährstoffe aus dem Wasser extrahieren können, führt zu einer weiteren Steigerung der Reinigungsleistung. Solche Polykulturen sind früh in Ostasien mittels Versuch und Irrtum entstanden (Neori et al. 2004).

Eine Pilotanlage mit Miesmuscheln und *Ulva* sorgte dafür, dass 80% der Partikel und hohe Anteile des Stickstoffes aus dem Wasser eines Delphinariums entfernt wurden (Smit 2000).

Moderne Formen zeigen die ökologischen und ökonomischen Vorteile auf, die entstehen, wenn kommunale Abwässer vermisch mit Seewasser als Nährstoffquelle genutzt werden (Neori et al. 2004). Darin wachsendes Phytoplankton ernährt Muscheln, die partikuläre in gelöste Nährstoffe verwandeln. Die übrig bleibenden gelösten Nährstoffe werden im letzten Schritt von Makroalgen wie *Gracilaria* oder *Ulva* aufgenommen. Die Autoren erkennen den Schwachpunkt dieses Reinigungssystem, nämlich den fraglichen „Wert“ der Organismen, die von menschlichem Abwasser ernährt wurden.

Deutlich positiver wird die Polykultur von Lachsen, Miesmuscheln und Algen eingeschätzt, wenn sie zur alleinigen menschlichen Ernährung betrieben wird (Ridler et al. 2007). Sie fördert die ökologische Nachhaltigkeit und die gesellschaftliche Akzeptanz im Vergleich zur Monokultur von Lachsen.

Auch wenn der Impuls für die Entwicklung der angesprochenen Polykulturen zur Wasserreinigung vornehmlich aus dem Interesse entsprang, die umweltbelastenden Folgen der Mono-Fischaquakultur abzumildern, können die Erkenntnisse auch auf die Reinigung von Abwässern anderer Herkunft übertragen werden. Für das Studium der grundlegenden Prozesse ist es gleichgültig, ob die Nährstoffbelastung aus einer Fischaquakultur oder, wie im Falle des Hooksmeeres, aus verschiedenen diffusen oder punktuellen Quellen stammt.

## **5 Schlussfolgerungen**

Als begrenzend erwies sich die Wasseraustauschrate des Reinigungssystems. Da nur 250 L, später 500 L, am Tag ausgetauscht wurden, ergaben sich für den anfänglich hohen Muschelbesatz einschneidende begrenzende Bedingungen, bezüglich der Sauerstoff- als auch der Nährstoffversorgung. Die hohe Mortalität war die Folge dieser Bedingungen. Durch schrittweise Verringerung der Besatzdichte wurde die Mortalität drastisch gesenkt und auch die Wachstumsleistung in den späteren Experimenten trotz saisonal bedingter generell verschlechterter Nahrungsversorgung zunehmend optimiert. Die Ergebnisse unserer Versuche zeigen, dass trotz der begrenzenden Rahmenbedingungen ein Großteil der verfügbaren Nährstoffe von dem Algen-Muschelsystem aufgenommen wurde.

Eine weitere Optimierung vorausgesetzt, könnten sich Algen-Muschel-Biofilter als Möglichkeit erweisen, die kommunalen Abwässer von Küsten- oder Inselkommunen aufzureinigen. Dort wäre der am Beginn der Diskussion erwähnte mangelnde ökonomische Anreiz gegeben. Denn die Abwässer aus kommunalen Kläranlagen belasten die Gemeinden derzeit mit 1,43€/kg Stickstoff gem. Abwasserabgabengesetz (<http://www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/geweschr/abwag.htm>). Hinzu kommen noch Kosten für den Betrieb der Kläranlagen selber. Umgerechnet auf die Rückhaltung von einem kg Stickstoff belaufen sich die Kosten auf 7,70€ (Hartje et al. 2003). Ein Teil dieser Kosten ließe sich kostengünstiger in Biomasse von Algen und Muscheln verwandeln, die ihrerseits einen gewissen Marktwert, vielleicht durch ihren Einsatz in Biogasanlagen, hätten.

## 6 Literatur

- Buschmann AH, Troell M & Kautsky N 2001. Integrated algal farming: a review. *Cah. Biol. Mar.* 42, 83-90.
- Carmona R, Kraemer GP, Yarish C 2006. Exploring Northeast America and Asian species of *Porphyra* for use in an integrated finfish-algal aquaculture system. *Aquaculture* 252, 54-65.
- Chopin T, Yarish C, Wilkes R, Belyea E, Lu S & Mathieson A. 1999. Developing *Porphyra*/salmon integrated aquaculture for bioremediation and diversification of the aquaculture industry. *J. Appl. Phycol.* 11, 463-472.
- Coen I & Neori A 1991. *Ulva lactuca* biofilters for marine fishpond effluents. *Bot. Mar.* 34, 475-482.
- Haamer, J1996. Improving water quality in a eutrophied fjord system with mussel farming. *Ambio* 25 (5), 356-362.
- Hernández I, Martínez-Aragón JF, Tovar A, Pérez-Lloréns JL & Vergara JJ 2002. Biofiltering efficiency in removal of dissolved nutrients by three species of estuarine macroalgae cultivated with sea bass (*Dicentrarchus labrax*) waste waters. 2. Ammonium. *J. Appl. Phycol.* 14, 375-384.
- Martínez-Aragón JF, Hernández I, Pérez-Lloréns JL, Vázquez R & Vergara JJ 2002. Biofiltering efficiency in removal of dissolved nutrients by three species of estuarine macroalgae cultivated with sea bass (*Dicentrarchus labrax*) waste waters. 1. Phosphate. *J. Appl. Phycol.* 14, 365-374.

- Matos J, Costa S, Rodrigues A, Pareira R, Sousa Pinto I 2006. Experimental integrated aquaculture of fish and red seaweeds in the Northern Portugal Aquaculture 252/1, 31-42
- Neori A, Chopin T, Troell M, Buschmann AH, Kraemer GP, Halling C, Shpigel M, Yarish C 2004. Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. Aquaculture, 231, 361-391.
- Neori, A; Ragg, NLC; Shpigel, M 1998. The integrated culture of seaweed, abalone, fish and clams in modular intensive land-based systems: II. Performance and nitrogen partitioning within an abalone (*Haliotis tuberculata*) and macroalgae culture system. Aquacult. Eng. 17 (4), 215-239.
- Officer CB, Smayda TJ & Mann R 1982. Benthic filter feeding: A natural eutrophication control. Mar. Ecol. Prog. Ser. 9, 203-210.
- Reeders, HH; Bij de Vaate, A 1990. Zebra mussels (*Dreissena polymorpha*): A new perspective for water quality management. In: Gulati, RD; Lammens, EHRR; Meijer, M-L; Donk, Evan (eds): Biomanipulation – tool for water management. Hydrobiologia 200-201, 437-450.
- Ridler N, Wowchuk M, Robinson B, Barrington K, Chopin T, Robinson S, Page F, Reid G, Szemerda M, Sewuster J, Boyne-Travis S 2007. Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA): A potential strategic choice for farmers. Aquaculture Economics & Management, 11, 99-110.
- Riisgard 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.
- Smit R 2000. Water treatment using mussels and macro-algae. TNO-Environment, Energy and Process Innovation 1-2.
- Troell M, Roennbaeck P, Halling C, Kautsky N & Buschmann AH 1999. Ecological engineering in aquaculture: use of seaweeds for removing nutrients from intensive mariculture. J. Appl. Phycol. 11, 89-97.
- Walter U, Liebezeit G, & Walter I 2006. Nachhaltige Miesmuschel-Anzucht im niedersächsischen Wattenmeer durch die Besiedlung natürlicher und künstlicher Substrate. In: Walter U (Hrsg.) Nachhaltige Miesmuschel-Anzucht im niedersächsischen Wattenmeer. Forschungszentrum Terramare Berichte 15, 18-80.

Zhou Y, Yang H, Hu H, Liu Y, Mao Y, Zhou H, Xu X, Zhang F 2006. Bioremediation potential of macroalga *Gracilaria lemaneiformis* (Rhodophyta) integrated into fed fish culture in coastal waters of north China. *Aquaculture* 252, 264-276