

Ökologie und Nutzung von Rifforganismen im Golf von Aqaba, Rotes Meer

Förderkennzeichen 03F0356A-B

Abschlussbericht 2002-2005

Prof. Dr. Venugopalan Ittekkot, Dr. Uwe Waller; Zuwendungsempfänger

Dr. Claudio Richter; Projektkoordinator



Aufgabenstellung

Das deutsch-jordanische Verbundprojekte verfolgte drei Ziele:

Erstens, die Erforschung der Ökologie und Reproduktion von wissenschaftlich interessanten und wirtschaftlich nutzbaren Wirbellosen aus Korallenriffen des Roten Meeres, hier besonders die für den europäischen und US-amerikanischen Aquarienmarkt sowie den asiatischen Delikatess-Markt interessanten Riesenmuscheln.

Zweitens, die Anwendung und Optimierung von Verfahren für die Massenproduktion kommerziell nutzbarer Wirbelloser aus Korallenriffen des Roten Meeres in einer Pilotanlage.

Drittens, die Anwendung und Optimierung moderner deutscher Kreislauf-Technologie für die umweltverträgliche Aquakultur von hochwertigen Rifforganismen in Gebieten wie dem Golf von Aqaba, die aufgrund ihrer Nährstoff-Armut besonders empfindlich sind gegenüber Eutrophierung. Durch intensives Recycling sollte nach dem natürlichen Vorbild eines Korallenriffs ein enger Stoffkreislauf innerhalb des Systems gewährleistet und Nährstoff-Verluste an die Umwelt minimiert werden.

Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Durch Beteiligung (1) der niedersächsischen Firma Sander, einem in der Kreislauftechnologie international ausgewiesenen mittelständischen Unternehmen, (2) dem Kieler Partner IfM-GEOMAR mit Know-How in der Unterhaltung künstlicher Ökosysteme, (3) der aus Vorläufer-Projekten (Rotes Meer Programm, RSP) gut ausgestatteten Aqaba Marine Science Station mit direktem Zugang zu Korallenriffen des Roten Meeres, (4) der Rekrutierung einer in der Biologie von Riesenmuschel erfahrenen wissenschaftlichen Mitarbeiterin aus den Philippinen und (5) der Expertise des ZMT in der riffökologischen Forschung und Koordination von komplexen Verbundvorhaben waren gute wissenschaftliche, und ingenieurstechnische Voraussetzungen gegeben für die Durchführung des Vorhabens. Allerdings konnten durch administrative Verzögerungen und den Irak-Krieg die baulichen Voraussetzungen für das Vorhaben erst in der zweiten Hälfte der dreijährigen Projektphase geschaffen werden.

Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Planung des Vorhabens erfolgte in enger Abstimmung aller o.g. Partner. Hierzu fanden Planungstreffen in Deutschland und Jordanien statt. Durch die späte Bewilligung des Vorhabens (rückwirkende Bewilligung im Juni 2002 für April 2002) konnten die jordanischen Verwaltungen erst nach Übermittlung der schriftlichen Unterlagen aktiv werden. Der Bau des aus Mitteln der MSS und der

sie tragenden University of Jordan, Amman, und der Yarmouk University in Irbid finanzierten Forschungsgebäudes zur Aufnahme der deutschen Anlage verzögerte sich durch Sommerpause, längere Genehmigungsverfahren und der sehr angespannten politischen Situation im Zuge der kriegerischen Auseinandersetzungen im Nachbarland, so dass der Aufbau der deutschen Anlage erst mit Fertigstellung des Gebäudes Anfang 2004 abgeschlossen werden konnte.

Eine besondere ingenieurstechnische Herausforderung für die Regelungstechnik waren die extremen Temperaturen (z.T. $>40^{\circ}\text{C}$ in den Sommermonaten) und die Trockenheit (Wüstenklima), die besonders im offenen Bereich der Anlage zum tragen kommen. Dennoch konnten nach Einfahren der Anlage die Temperatur- und Salzgehalts-Schwankungen kontrolliert und damit weitgehend konstante Hälterungsbedingungen in der Anlage geschaffen werden. Ein weiteres Problem waren die in der Einfahrphase sehr hohen Nährstoffkonzentrationen durch zu frühen Besatz und Zufütterung. Mittlerweile kann durch geeigneten Besatz und Nährstoff-Filter (Macroalgen) das Nährstoffklima in den Becken kontrolliert werden.

Der Schwerpunkt der Forschungen zur Aquakultur lag in der Reproduktion und Ökologie von Riesenmuscheln, da für blaue Exemplare aus dem Roten Meer Liebhaberpreise auf dem Aquarienmarkt zu erzielen sind. Trotz eines nur engen Reproduktionsfensters an der natürlichen Verbreitungsgrenze der Muscheln gelang die künstliche Nachzucht. Eine gesicherte Massenproduktion von Riesenmuscheln konnte während des Berichtszeitraums aber nicht erzielt werden, da eine hohe Mortalität bei der Metamorphose der Larven zu Jungmuscheln auftrat und somit nicht genügend Individuen für eine kommerzielle Verwendung zur Verfügung standen.

Die vordringliche Aufgabe ist es daher, die Faktoren für die Sterblichkeit zu isolieren, um eine intensive Nachzucht zu ermöglichen. Weitere Arbeiten zielen auf die künstliche Ausdehnung der Reproduktionsperiode durch Konditionierung (Temperatur, Nahrungsangebot) und die Erhöhung des Reproduktionserfolges.

Wissenschaftlicher und technischer Stand

Die technische Implementierung der Kreislaufanlage in Aqaba erfolgte durch die Fa. Sander auf Grundlage der wissenschaftlichen Vorgaben der Projektpartner. Federführend für letztere war Dr. Uwe Waller vom IfM-GEOMAR in Kiel. Die technische Ziele wurden voll erreicht, allerdings musste die Fa. Sander zur Erreichung der technischen Ziele erheblich stärker als ursprünglich geplant an den Ausgaben für das Vorhaben beteiligt werden. Ein technischer Bericht der Fa. Sander mit den aktuellen Konstruktionszeichnungen findet sich in Anlage 1.

Zusammenarbeit

An dem Vorhaben waren neben den genannten Projektpartnern (ZMT Bremen, IfM-GEOMAR Kiel, MSS Aqaba, Universitäten Yarmouk und Jordan, Fa. Sander) auch die Aqaba Special Economic Zone Authority (ASEZA) als Genehmigungs- und Aufsichtsbehörde sowie Studenten der Universitäten Bremen, München und Oldenburg beteiligt.

Erzielte wissenschaftliche Ergebnisse

Im Mittelpunkt der Untersuchungen standen

- Feldarbeiten zu Populationsdichte, Verteilung und Reproduktionszyklus der beiden bekannten Rotes Meer Arten *Tridacna maxima* und *T. squamosa* im nördlichen Golf von Aqaba,
- Arbeiten zur Photosynthese- und Filterleistung von Riesenmuscheln im Freiland und Labor in Abhängigkeit von Licht- und Nährstoffangebot
- die Weiterentwicklung von Verfahren zur Produktion von Saatmuscheln im Durchfluß-System (Raceways) und Laborarbeiten zur Konditionierung des Riesenmuschel-Elternbestands (Broodstock) für die Saison-unabhängige Nachzucht,
- Arbeiten zu Nährstoffkreislauf und Besatz in der Kreislauf-Anlage,
- Arbeiten zur marinen Umwelt und Umweltverträglichkeit.

Riesenmuscheln (Tridacnidae) sind als größte schalentragende Mollusken im Indopazifik weit verbreitet. Zwei der acht rezenten Arten kommen im Roten Meer vor — *Tridacna squamosa* Lamarck, 1819 and *T. maxima* Roding, 1798. Das nördliche Nebenbecken des Roten Meeres, der Golf von Aqaba, ist dabei die nordwestliche Verbreitungsgrenze beider Arten. Das extreme Kontinentalklima des wüstengesäumten Golfs bietet hier wesentlich rauere Lebensbedingungen als im Verbreitungsschwerpunkt der Muscheln im Tropengürtel des Indopazifik. Vordringliches Ziel der Untersuchung war daher die Erforschung der Ökologie, Verbreitung, Reproduktion und Molekulargenetik der Riesenmuscheln im nördlichen Golf von Aqaba als Grundlage für die kommerzielle Nutzung von Rotes Meer Riesenmuscheln nach an die klimatischen Bedingungen des Roten Meeres angepassten Verfahren (Riesenmuschel-Marikultur).

An der Nordspitze des Golfs in Jordanien kommen Riesenmuscheln nur noch fleckenhaft und insgesamt weitaus seltener vor (0.3 – 0.5 Individuen pro 100 m²) als im Roten Meer oder Indopazifik, wo die Dichten vier- bis siebenfach bzw. zehnmals höher liegen. Das gefundene Verbreitungsmuster lässt darauf schließen, dass das zunehmend kontinentalere Klima mit kalten Wintertemperaturen die Häufigkeit der Riesenmuscheln in ihrem

geographischen Verbreitungsgebiet bestimmen. Entlang der jordanischen Küste sind die Riesenmuschelbestände in den letzten drei Jahrzehnten auf ein Zwölftel zurück gegangen. Dieses weist — ebenso wie die im Vergleich zu frei zugänglichen Gebieten zu zwei Dritteln höheren Dichten von Riesenmuscheln in geschützten Gebieten (1.04 ± 0.4 Individuen pro 100 m^{-2})— auf eine Überfischung des natürlichen Bestandes und den Verlust von Lebensraum durch Küstenentwicklung hin, die neben Extremereignissen wie Ölnfällen und Extremtiden zum Niedergang der Population geführt haben können. Diese Vermutung wird durch die vergleichende Analyse der Bestände im übrigen Roten Meer bestätigt: so finden sich im Jemen höhere Dichten von Riesenmuscheln in unbefischten und geschützten als in zugänglichen Gebieten und in Djibouti geringere Abundanzen in Gebieten, die Belastungen durch Küstenentwicklung und Schiffsverkehr ausgesetzt sind. Da die Küstenentwicklung entlang des Roten Meeres durch Tourismus, Schiffsverkehr und Industrie — und damit der Druck auf die Korallenriffe und seine nutzbaren Ressourcen — weiterhin zunimmt, ist ein grenzüberschreitendes Management dringend geboten.

Die ausgeprägte Saisonalität im nördlichen Golf von Aqaba mit warmen nährstoffarmen Sommern und kalten nährstoffreichen Wintern wirkt sich je nach Wassertiefe unterschiedlich auf die Riesenmuschelpopulationen aus: *T. maxima* (adulte und juvenile Muscheln) kommen 80-mal häufiger auf dem Riffdach ($< 3 \text{ m}$) vor, als in tieferen Bereichen der Saumriffe und kommen damit ganzjährig in den Genuss sehr hoher Lichtintensitäten – allerdings auf Kosten einer knapperen Nährstoffversorgung und ausgeprägter Temperaturextrema. *T. squamosa* hingegen sind dreimal häufiger im tieferen Saumriff zu finden (überwiegend adulte Tiere) als auf dem Riffdach, wo Juvenile überwiegen. Berücksichtigt man die altersabhängig unterschiedlich mixotrophe Ernährungsweise von Riesenmuscheln — Adulte sind funktional photoautotroph, Juvenile in stärkerem Maße heterotroph — so ist zu vermuten, dass junge Exemplare ihren Nährstoffbedarf vorwiegend aus dem Plankton decken, das dem Korallenriff an der Oberfläche stets zugeführt wird. Ältere *T. squamosa* hingegen nutzen das erhöhte Nährstoffangebot in den tieferen Riffbereichen für die Photosynthese. Adulte *T. maxima* decken ihren Nährstoffbedarf vermutlich aus dem aus dem erhöhten Plankton-, ihren Energiebedarf aus dem erhöhten Lichtangebot an der Oberfläche. Das Wachstum sowohl der Wildbestände als auch der gehälterten Juvenilen in Jordanien war vergleichbar mit dem im Indopazifik, so dass davon ausgegangen werden kann, dass insgesamt ausreichende Wachstumsbedingungen in dieser subtropischen Randregion vorherrschen. Allerdings war die Reproduktionsperiode gegenüber den Tropen stark verkürzt und auf die Sommermonate begrenzt. Es gibt eine ausgeprägte Saisonalität in der Gonadenentwicklung mit artspezifischen Laichzeiten: *T. squamosa* laicht zwischen Juni bis November und zeigt eine zwei-gipflige Verteilung in der Reproduktionsintensität. Im Gegensatz dazu zeigt *T. maxima*