

Biotische und abiotische Limitierung bei der Koralle

Cladocora cespitosa (*Madreporaria*)

Wolfgang Tins

Cladocora cespitosa, growing with high density, changes the soft-bottom to a secondary hard bottom, and raises the diversity of macrofauna and the abundance of quite a lot of different species.

The area where *Cladocora* is growing (Adriatic-Sea near Piran/Yugoslavia) is sharply limited. Parameters which could be responsible for limitation are comparatively measured inside and outside the *Cladocora*-area. It is shown that there are mostly three parameters limiting the corals, light, high sedimentation rates and overgrowing by epifauna.

1. Einleitung

Nach THORSON (1957) leben 5% der marinen Tierarten nicht-benthisch, 20% sind Sand- und Schlammbewohner, 75% leben auf festem Untergrund. Unterschiede in der Besiedlung sind also u.a. eine Funktion des Untergrundes. Die Unterschiede des Untergrundes sind meist durch geologische bzw. geomorphologische Gegebenheiten bedingt. Jedoch gibt es auch Untergrundsveränderungen biogener Art. Die aus ihnen resultierenden Änderungen des Ökosystems können so grundlegend sein, daß solche untergrundverändernden "Schlüsselarten" eines Tages zum Werkzeug werden könnten, um Diversität und Abundanz einzelner Arten zu beeinflussen (ODUM et al. 1960, SANDERS 1968). *Cladocora cespitosa*, die einzige riffbildende Koralle der Adria ist eine solche hartbodenbildende "Schlüsselart". Im untersuchten Biotop vor Piran (NW-Istrien) ist die Umwandlung des ursprünglichen Weichbodens in einen sekundären Hartboden bereits weit fortgeschritten, wodurch augenscheinlich die Diversität wie auch die Abundanz der Makrofauna im Verhältnis zur Umgebung wesentlich erhöht wurde.

Ein weiterer Grund für die Auswahl dieser Stelle für die vorliegende Arbeit war die relativ scharfe Begrenzung des *Cladocora*-Vorkommens auf ein Areal von etwa 200 x 120 m, die die ökologische Analyse zu erleichtern versprach. In mehreren Kilometern Umkreis kommt die Art nicht mehr vor, danach mit einer Abundanz von max. 1% von der des untersuchten Gebietes.

2. Methoden und Material

An Punkten innerhalb und außerhalb des *Cladocora*-Riffs wurden 17 potentiell relevante Parameter vergleichend gemessen. Es wird jedoch nur auf die drei Parameter näher eingegangen, die sich als tatsächlich limitierend erwiesen. Der außerhalb liegende Vergleichspunkt wurde so gewählt, daß er dicht benachbart und in gleicher Tiefe zum *Cladocora*-Areal lag sowie ähnliche Untergrundsneigung hatte. Zur Vermessung des *Cladocora*-Gebietes wurden die äußeren Grenzen mit kleinen Bojen markiert, die dann von Land aus mit Hilfe eines Sextanten vermessen wurden. Das Setzen der Bojen sowie ein Großteil der übrigen Untersuchungen wurde mit Hilfe von Preßluft-Leichttauchgeräten durchgeführt. Die Tiefen wurden mit einem üblichen Handgelenk-Tiefenmesser bestimmt. Die Anzeige- bzw. Ablesegenauigkeit wurde mit einem Lot kontrolliert und betrug ± 0.3 m. Der durchschnittliche Gezeitenunterschied in diesem Gebiet ist etwa 0.5 m.

Die genauere Kartierung erfolgte später bei der Untersuchung der biotischen Faktoren. Wie noch dargestellt wird, mußten dafür mehrere hundert Meter längenmarkiertes Seil mittels eines Unterwasser-Kompasses verlegt werden. Von diesen "Grundlinien" aus konnte die Ausdehnung der Korallenpopulation noch genauer festgelegt werden.

Die Lichtmessungen wurden anfangs mit einer Silicium-Fotozelle in Verstärkerschaltung durchgeführt. Nachdem diese Fotozelle durch Schaden ausfiel, wurde später mit einer Selenzelle gearbeitet. Die Fotozelle war wasserdicht gekapselt. Von außen konnten verschiedene Filter (Schott-BG 12, -VG 9, -RG 630) vor das Fotoelement geschwenkt werden. Das Gehäuse der Fotozelle war über ein kurzes Kabel mit dem Meßgerät (Goerz-Miniscript) verbunden. Der Schreiber war mit den Versorgungsbatterien ebenfalls in einem wasserdichten Gehäuse, so daß er während der Messung am Grund deponiert werden konnte.

Zwischen Untergrund, Strömung und Sedimentation gibt es eine Reihe von Interrelationen, so daß sie gleichzeitig behandelt werden sollen. Sedimentationsfallen aus Acrylglas, die 10-20 cm über Grund deponiert wurden, konnten nur semiquantitativ Auskunft über die Größenordnung der Sedimentation geben. Zum einen machte sich Verallgemeinerung bemerkbar, zum anderen wirkten sie eventuell als "Falle" für Sedimente, die ansonsten nur umgelagert werden. Die so mit Vorsicht zu sehenden Werte können jedoch sicher Unterschiede zwischen den Meßpunkten aufzeigen. Der Inhalt der Sedimentfallen wurde 20 Stunden bei 100°C getrocknet und gewogen.

Vom Untergrund rings um die Vergleichspunkte wurde eine Reihe von Oberflächenproben (bis 3 cm Tiefe) genommen und eine Korngrößenanalyse durchgeführt. Dazu wurden die Proben naß gesiebt. Es wurde ein Satz von 10 Sieben zwischen 6,3 mm und 0,04 mm Maschenweite verwendet. Die einzelnen Fraktionen wurden 24 Stunden bei 105°C getrocknet und anschließend gewogen. Zur Ermittlung des organischen Anteils wurden die Fraktionen in einem Muffelofen 24 Stunden auf 700°C erhitzt und der Gewichtsverlust notiert.

Die Strömungsmessungen wurden mit verschiedenen Methoden durchgeführt. Der Hauptströmungsverlauf entlang der Halbinsel von Piran wurde mit Driftkörpern und vergleichsweise mit Fluoreszin ermittelt. Der genaue Strömungsverlauf und die Strömungsgeschwindigkeit über Grund wurde häufig anhand von schwebenden Schmutzpartikeln mittels Kompaß, Maßstab und Uhr gemessen. Mehrmals erfolgte eine genaue Messung mit Fluoreszin entlang einer 40 m langen Leine.

Um die Abundanz von *Cladocora* und der verschiedenen Epifauna-Arten zu erfassen, wurde eine spezielle Transekt-Methode angewandt (PORTER 1972). Längensmarkierte Plastikleinen wurden mit dem Unterwasser-Kompaß ausgerichtet und mit Winkelreusen am Grund befestigt. Senkrecht zu diesen "Grundlinien" wurden dann die Transekte mittels einer Kette gemacht. Die Kette wurde jeweils straff über den Grund gespannt, und es wurde notiert, unter wie vielen Gliedern Sediment, unter wie vielen *Cladocora*-Individuen und unter wie vielen eine Epifaunaspecies auf *Cladocora* war. Die verwendete Kette war 8,2 m lang. Die innere Länge eines Gliedes betrug 2,2 cm. Mehrfachzählungen einer Kettenlänge ergaben, daß mit Zählfehlern von max. 4% zu rechnen ist.

Um den Einfluß von Licht und den symbiotischen Zooxanthellen auf die Wachstumsgeschwindigkeit festzustellen, wurden noch Wachstumsmessungen im Labor durchgeführt. Ein Teil der Kolonien, die für die Wachstumsexperimente verwendet wurden, war zooxanthellenfrei gemacht worden, indem er sechs Monate unter Lichtausschluß gehalten wurde. Danach waren die Korallenpolypen farblos transparent. Es konnte auch mikroskopisch kein Hinweis auf Zooxanthellen oder Reststrukturen davon gefunden werden. Anfangs lebten die Tiere in einem Aquarium, das ständig von frischem Seewasser durchströmt wurde, in dem sich genügend Nahrung befand. Während der Zeit der Wachstumsexperimente im Isotopenlabor des Zoologischen Instituts der Universität München wurde mit *Artemia*-Larven und mit Süßwasser-*Cyclops* gefüttert. Die Wachstumsgeschwindigkeit wurde anhand des Einbaus von radioaktivem Calcium in das Skelett bestimmt. Das Skelett besteht zu ca. 92% aus Calciumkarbonat in Form von Aragonit. Teilkolonien mit jeweils 3 bis 8 Einzeltieren wurden in 250 ml Bechergläsern und 150 ml Wasser mit ⁴⁵Ca inkubiert. Die Bechergläser wurden belüftet und so der pH-Wert konstant gehalten. Die Inkubationsdauer lag zwischen 2 und 24 Stunden. Die Inkubation wurde mit Beleuchtungsstärken von 4500 Lux und 11000 Lux sowie im Dauerdunkel durchgeführt. Zur Beleuchtung wurden Leuchtstoffröhren Philips TL 40 verwendet. Nach der Inkubation wurde der Skeletteil der Einzeltiere, der von lebendem Gewebe überdeckt ist, mit einer kleinen Zange abgezwickelt. In heißer KOH wurde das Gewebe entfernt, danach das Skelett gewaschen und gewogen. Dann wurde es in HCl (verd.) gelöst. Die Lösung wurde mit KOH teilneutralisiert, blieb jedoch immer im leicht sauren Bereich. Die Messung des eingebauten ⁴⁵Ca erfolgte mit einem Szintillationszähler (Nuclear - Chicago Mark II). Als Szintillationsflüssigkeit wurden 120 g Naphtalin + 4 g Omnifluor (PPO + POPOP) mit Dioxan auf 1 l aufgefüllt, verwendet. Der Quench wurde mit Hilfe des "external Standard" berechnet. Die Strahlungsenergie der Inkubationslösung wurde anhand einer Wasserprobe von 0,5 ml aus jedem Becherglas festgestellt. Um zu sehen, wieviel markiertes Calcium passiv im Skelett eingelagert wird, wurde jeweils Material, an dem keine Skelettogenese stattfinden konnte, mit inkubiert. Dieser Wert wurde nach einer dem Gewicht entsprechenden Korrektur ebenso wie der background-Wert von dem cpm-Wert der lebenden Tiere subtrahiert. Der Calciumgehalt des Inkubationswassers wurde gewichtsanalytisch als Calciumoxalat (VOGEL 1943), flammenspektrometrisch sowie nach zwei komplexometrischen Methoden (Titration mit Calconcarbonsäure und mit Murexid) bestimmt, da störende Metallionen Probleme bei der quantitativen Analyse aufwerfen. Durch die Zugabe des ⁴⁵Ca in Form von CaCl₂ wurde der Calciumgehalt des Seewassers nur um etwa 10⁻³ % erhöht. Das benutzte ⁴⁵Ca besaß eine spezifische Aktivität von 10 mCi/mg Ca.

Mit dem U-Test von MANN-WHITNEY (CAMPBELL 1967) wurde getestet, ob die chemischen und physikalischen Wertepaare der Vergleichspunkte aus signifikant verschiedenen Grundgesamtheiten stammen. WILCOXONS U-Werte wurden für den Signifikanztest auf dem 5%-Niveau benutzt. Bei den biotischen Faktoren wurden die Stichproben 11 Tiefenklassen zu je 1 m zugeordnet und die signifikante Verschiedenheit mit STUDENTS - t (P = 5% für zweiseitige Abweichung) geprüft. Die Werte der Wachstumsmessungen mit ⁴⁵Ca wurden nach den beschriebenen Korrekturen in Gruppen (Zooxanthellenfreie - Normaltiere, Inkubation unter verschiedener Beleuchtungsstärke) zusammengefaßt. Die aus diesen Gruppen erhaltenen Mittelwerte wurden mit dem d-Test (Vergleich der Mittelwerts-Differenz bei ungleichen Varianzen der Grundgesamtheit) geprüft. Die Größe d ist von der BEHRENS-FISCHER-Verteilung abgeleitet (CAMPBELL 1967).

3. Ergebnisse

3.1 Arealbeschreibung

Das untersuchte Areal der *Cladocora cespitosa*-Population liegt vor Piran, an der Nordwestspitze Istriens, und hat eine Ausdehnung von ca. 200 x 120 m. Der Untergrund ist ein überwiegend sandiger Weichboden. Im Gebiet des *Cladocora*-Vorkommens ist er relativ eben. Nach einer steileren Uferböschung fällt er von ca. 7 m auf etwa 13 m ab und senkt sich dann wiederum steiler nach allen Seiten. In einer Tiefe von über 20 m wird er dann fast eben.

Folgende Parameter wurden innerhalb und außerhalb des *Cladocora*-Arealen in 11 m Tiefe gemessen, ohne daß sich signifikante Unterschiede ergaben. Es wird deshalb nicht näher auf diese Daten eingegangen.

Temperatur:	Minimum: 10.0°C, Maximum: 23.8°C
Salinität:	Minimum: 34 ‰, Maximum: 38 ‰
Sauerstoff:	Mittelwert: 5.3 ml/l
BSB ₅	" 0.42 ml/l
pH	" 8.13
-NO ₂	" 0.1 µgat/l
-NO ₃	" 1.05 µgat/l
-SiO ₂	" 2.2 µgat/l
P _t	" 0.43 µgat/l
-PO ₄	" 0.11 µgat/l
Seston	" 1.6 mg/l Trockengew.; 35% org. Anteil

3.2 Lichteinfluß

Cladocora besitzt wie alle hermatypischen Korallen in den Entodermzellen Zooxanthellen der Art *Gymnodinium microadriaticum* (Chromophyta) und ist somit indirekt lichtabhängig, da den Zooxanthellen, wie später gezeigt wird, eine entscheidende Bedeutung bei der Kalkabscheidung (Skelettbildung) zukommt. Da mit der später verwendeten, niedrigempfindlichen Selenzelle im Rotbereich (Schott RG 630) keine zuverlässigen Werte in den relevanten Tiefen erhalten wurden (größenordnungsmäßig in 11.5 m Tiefe 1%, in 18 m ca. 0.15% der Energie direkt unter der Wasseroberfläche), werden nur Transmissionsmittelwerte in den anderen drei gemessenen Bereichen angegeben. Aus den Messungen mit dem VG 9-Filter ließen sich überschlagsmäßig die Luxwerte errechnen, da im vorliegenden Empfindlichkeitsbereich nur geringe Fehler durch selektive Filterwirkung des Wassers auftreten (SIEBECK 1960). Die Messungen wurden zwischen 11.30 und 13.15 Uhr bei wolkenlosem Himmel und Windstärken unter 3.5 durchgeführt.

Tab. 1: Spektrale Transmission

(Beleuchtungsstärke in 11.5 m Tiefe: 13800 Lux,
in 18 m Tiefe: 8700 Lux.)

	Transmission (%/m)	Beleuchtungsstärke in % des unter der Oberfläche gemessenen Wertes	
		in 11.5 m	in 18 m
ohne Filter	85	15	5
VG 9 (grün)	93	43	27
BG 12 (blau)	88	23	10

Der Einfluß des Lichts auf die Kalkabscheidung hermatypischer Korallen ist lange bekannt (KAWAGUTI u. SAKUMOTO 1948, GOREAU u. BOWEN 1955, GOREAU T.F. u. GOREAU N.I., 1959, BARNES u. TAYLOR 1973, BUCHSBAUM-PEARSE u. MUSCATINE 1971). Zum Nachweis der Bedeutung des Lichts bzw. der Zooxanthellen für das Skelettwachstum von *Cladocora* wurden Labor-experimente durchgeführt. Gemessen wurde der Einbau von ⁴⁵Ca in das Aragonitskelett der Tiere. Ist die Aktivität und der Calciumgehalt des Inkubationswassers bekannt, läßt sich auf den gesamten Calciumeinbau pro Tier und Zeiteinheit schließen.

Aus Tab. 2 und Abb. 1 ist zu ersehen, daß die Normaltiere bei einer Lichtintensität von 11000 Lux um ca. 45% mehr wuchsen als bei 4500 Lux. Die zooxanthellenfreien Tiere erreichten nur etwa 4% des Skelettwachstums der Normaltiere. Die Normaltiere bauten bei 11000 Lux ca. 9 µg Ca pro Tier und Tag ein. Das entspricht einem Zuwachs von ca. 22.5 µg CaCO₃/Tier · Tag. Bei gleichmäßigem Wachstum würde diese Zuwachsrate bei einem Tier normaler Größe zu einem jährlichen Längenwachstum von ca. 0.25 mm führen, bei kleinen Tieren würde dies einen Zuwachs von 1-2 mm bedeuten. (Es wurde versucht, für die Versuchsreihen gleichviele Tiere gleicher Größe zu verwenden.)

Die Werte aus Tab. 2 entstammen einer Meßreihe mit insgesamt 119 Tieren. Der Mittelwert der Normaltiere bei 11000 Lux unterscheidet sich signifikant von dem der Normaltiere

bei 4500 Lux. Ebenso unterscheiden sich beide signifikant von denen der zooxanthellen-freien Tiere. Die Signifikanz übertraf in allen Fällen nicht nur die 5%-Schranke, sondern lag noch jenseits der 1%-Grenze. Die Mittelwerte der zooxanthellenfreien Tiere sind nicht signifikant voneinander verschieden. Die \bar{x} -Werte der Tab. 2 sind die normierten und korrigierten Ergebnisse der Szintillationsmessungen. Dabei entspricht $x = 1$ ca. $0.1 \mu\text{g}$ eingebautem Calcium.

Tab. 2: Skelettwachstum

1. Normaltiere	11000 Lux	$\bar{x}_1 = 90.6$	$s_x = 18.7$
2. Normaltiere	4500 "	$\bar{x}_2 = 62.4$	$s_x = 21.7$
3. Zooxanth.freie	11000 "	$\bar{x}_3 = 4.1$	$s_x = 4.0$
4. Zooxanth.freie	4500 "	$\bar{x}_4 = 2.1$	$s_x = 5.8$

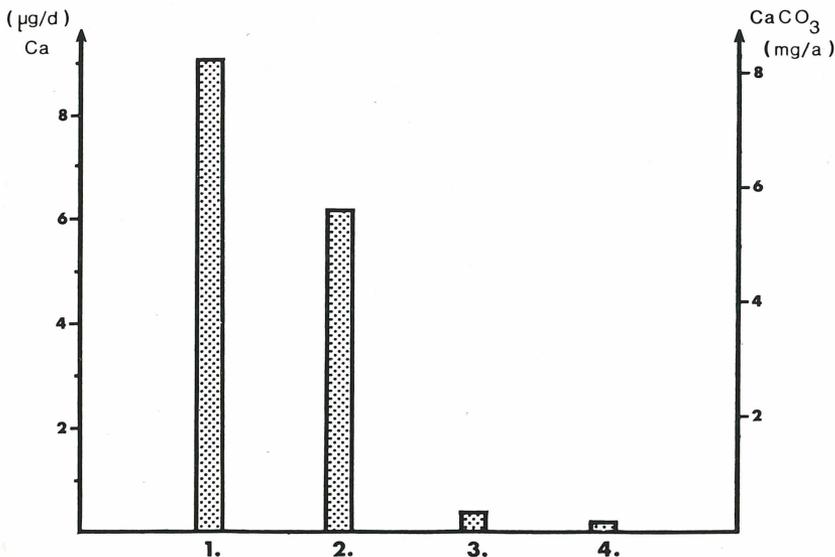


Abb. 1: Mittlerer Skelettwuchs eines Tieres

3.3 Einfluß von Strömung, Sedimentation, Untergrund

Die Strömung im untersuchten Biotop wird vor allem durch zwei Faktoren beeinflusst. Zum einen ist die wichtigste Großströmung der Adria wirksam, die entlang der jugoslawischen Küste nach Norden verläuft, zwischen Triest und Grado umgelenkt wird und an der italienischen Küste nach Süden geht. Überlagert wird diese Strömung durch eine zeitenabhängige Nord-Süd-Strömung. Während die erste Komponente ziemlich gleichmäßig stark ist, ist die zweite von der jeweiligen Tidenhöhe abhängig. Daneben gibt es noch durch den Wind verursachte Strömungen, die in seltenen Fällen die vorher genannten an Geschwindigkeit bei weitem übertreffen können.

Im untersuchten Gebiet beträgt die Strömungsgeschwindigkeit während der Springtiden in der Mitte zwischen Ebbe und Flut bei steigendem Wasser durchschnittlich 0.42 m/s nach Nord. Während der Nipptiden sinkt die vergleichbare Strömungsgeschwindigkeit auf 0.3 m/s nach Nord. Bei fallendem Wasserstand, etwa 3 Stunden nach Flut, geht die Strömung während Springtiden mit ca. 0.09 m/s nach Süden, bei Nipptiden mit ca. 0.02 m/s nach Norden. Das heißt, daß fast ausschließlich Wasser von Süd nach Nord transportiert wird. Das Mittel aller Strömungsmessungen dürfte in etwa die Geschwindigkeit der ständigen Nordströmung der Ostadria an dieser Stelle ergeben. Es beträgt etwa 0.16 m/s .

Im Zusammenhang mit der Strömung wurde auch die Sedimentation untersucht. Daß hohe Sedimentationsraten unter Umständen ein limitierender Faktor für Madreporarien sein können, wurde schon beschrieben (YONGE u. MAYOR 1940, SCHUHMACHER 1976). Während vier Sommermonaten betragen die Sedimentationsraten aus vier Messungen im *Cladocora*-Areal: 10,9, 10,4, 9,5, 9,5, im Durchschnitt: 10,1 mg/cm² · Monat Trockengewicht. Drei Messungen bei dem außerhalb liegenden Vergleichspunkt ergaben: 55,7, 57,3, 54,3, Durchschnitt: 55,7 mg/cm² · Monat. Das heißt, die Sedimentation außerhalb des *Cladocora*-Areal war etwa 5 1/2 mal höher als innerhalb.

Es wurde ein Translokationsversuch mit sechs *Cladocora*-Kolonien durchgeführt. Fünf kleine Kolonien mit Durchmessern zwischen 7 cm und 12 cm und eine größere mit ca. 32 cm Durchmesser wurden aus dem *Cladocora*-Areal in die Umgebung des Vergleichspunktes versetzt.

Tab. 3: Korngrößenanalyse

d (mm)		Durchgang (%) Clad.P	Durchgang (%) VP
		100.0	100.0
6.30	-0.5	92.7	96.2
3.15	-0.2	84.0	90.2
2.00	0.0	78.3	87.8
1.25	0.2	70.5	86.1
0.63	0.5	56.8	84.1
0.315	0.8	43.9	80.3
0.20	1.0	36.0	73.5
0.10	1.3	23.4	44.9
0.063	1.5	15.4	20.3
0.040	1.7	12.9	16.0

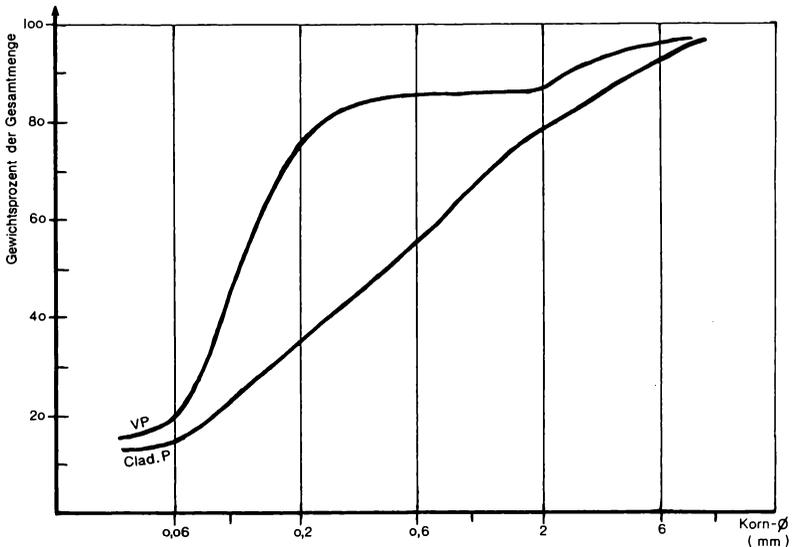


Abb. 2: Körnungskurven

Bei der Kontrolle am 12.2.74, 3 1/2 Monate nach der Translokation, waren alle kleinen Kolonien zusedimentiert und tot; in der größeren Kolonie lebten noch Einzeltiere in oberen vertikalen Teilbereichen. Verschiedene andere Beobachtungen legten den Schluß nahe, daß es im Korallenbiotop, ganz im Gegensatz zur Umgebung, praktisch keine rezente Sedimentation gibt.

Um Unterschiede im Sediment aufzuzeigen, wurden Bodenproben einer Korngrößenanalyse unterzogen. Die Ergebnisse sind in Tab. 3 und Abb. 2 dargestellt und zeigen, daß es sich um vollkommen verschiedene Sedimente handelt. Hinzuweisen ist auf das ausgeprägte Maximum des Vergleichspunktes im Feinsandbereich, der Korngröße, die zum Transport die geringste Grenzschleppspannung benötigt, d.h. der stärksten Erosion unterliegt. Die makroskopische Untersuchung der vier grobkörnigen Fraktionen zeigte, daß der *Cladocora*-Boden zum überwiegenden Teil aus *Cladocora*-Bruchstücken und Schell besteht, der Boden um den Vergleichspunkt dagegen große Mengen Gras, Holz, Teer, Kohlen usw. enthält. Um Unterschiede im organischen Substanzgehalt zu erfassen, wurden die Fraktionen verbrannt und der Gewichtsverlust gemessen. Die Ergebnisse zeigt Abb. 3.

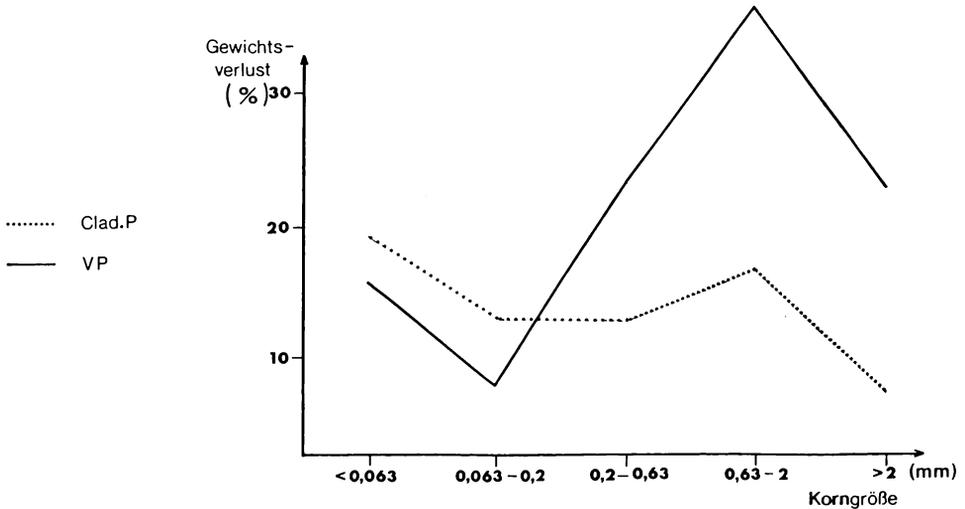


Abb. 3: Gewichtsverlust durch Verbrennen des organischen Sedimentanteils

Die am Vergleichspunkt abgelagerten Sedimente werden zum überwiegenden Teil durch den nahen Fluß Dragonja, der in die Bucht von Portoroz mündet, eingebracht. Da die Istrische Halbinsel den überwiegenden Teil der Niederschläge im Winter erhält, ist der Einfluß der Dragonja-Sedimente auf die marine Fauna wohl ebenfalls hauptsächlich auf diese Monate beschränkt. Das rasche Zusedimentieren der versetzten Kolonien zwischen Oktober und Februar wurde eventuell noch zusätzlich durch die niedrige Wassertemperatur und die damit herabgesetzte Aktivität der Korallenpolypen beschleunigt, zumal von *Cladocora* keine speziellen "Reinigungseinrichtungen", wie das koordinierte Flimmern bei der Gattung *Fungia* oder die Vibracularen bei Bryozoen bekannt sind.

3.4 Biotische Faktoren

Freßfeinde von *Cladocora cespitosa* wurden nicht bekannt. Dagegen gibt es eine ganze Reihe sessiler Tiere, die mit *Cladocora* in eine Art von Raumkonkurrenz treten. Da es sich jedoch ausschließlich um benthische Hartbodenfauna handelt und *Cladocora* für sie als Hartbodenbildner Voraussetzung ist, könnte man in gewisser Beziehung auch von einem Räuber-Beute-Verhältnis sprechen.

Diese Epifauna wächst nach der Ansiedlung wesentlich schneller als die Korallen und tötet sie durch Überwachsen (Abb. 4 u. 5). Die wichtigsten Arten der Epifauna sind bei den Schwämmen *Chondrilla nucula* (*Homosclerophorida*), *Ircinia spinulosa* und *Ircinia variabilis*, *Verongia aerophoba* und, in der Region unterhalb 14 m, *Dysidea tupa* (alle *Keratosa*). Unter den Bryozoen steht *Schizobrachiella sanguinea* (*Ascophora*) an erster Stelle. Die Hydrozoen, die teilweise in großer Dichte den *Cladocora*-Kolonien aufsitzen, kommen vermutlich als Nahrungskonkurrenten in Frage. Die hohe Abundanz des Schlangensterns *Ophiothrix fragilis*, der als Infauna in *Cladocora* lebt und mit seinen Armen das umgebende Wasser filtert, könnte ebenfalls einen Teil des Zooplanktons hindern, in Reichweite der *Cladocora*-Tentakel zu kommen. Es wurde quantitativ untersucht, wieviel Prozent der vorhandenen *Cladocora*-Population von Epifauna überwachsen und dadurch getötet

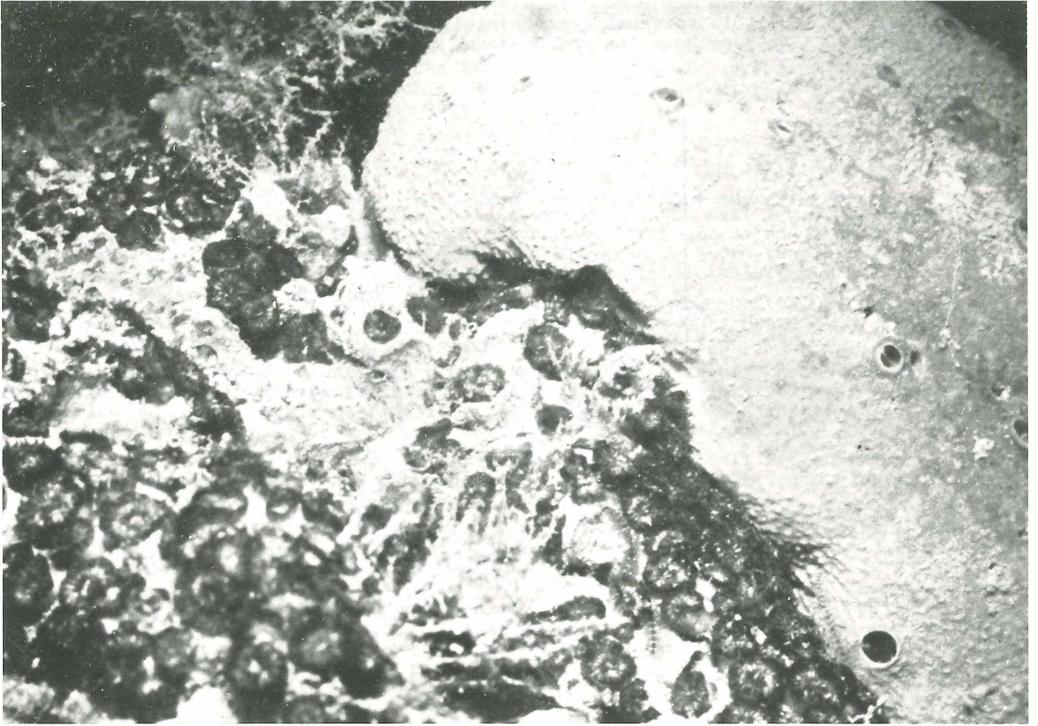


Abb. 4: *Cladocora* wird von Epifauna überwachsen und getötet (*Ircinia spec.*)



Abb. 5: *Chondrilla nucula* auf *Cladocora*-Kolonie

ist. Die optimale Tiefe, in der *Cladocora* die höchste Flächendichte erreicht, liegt zwischen 12 m und 15 m. Die Epifaunadichte steigt mit zunehmender Tiefe. In 18 m Tiefe ist mehr als die Hälfte der Korallen von Epifauna bedeckt (Abb. 6).

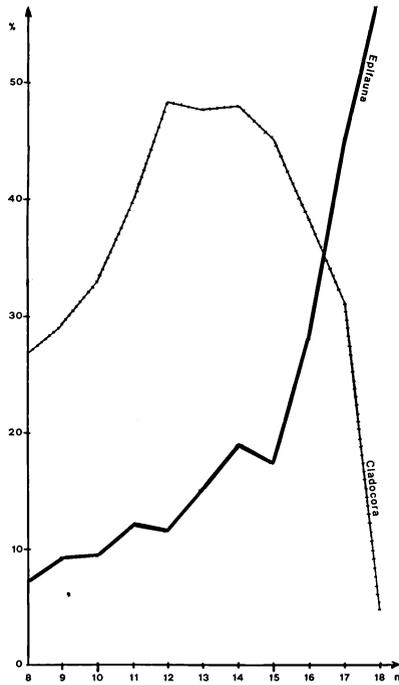


Abb. 6: *Cladocora*- und Epifaunadichte.

Cladocora in % der Gesamtfläche; Epifauna in % der von *Cladocora* bedeckten Fläche

4. Diskussion

Madreporarier-Larven setzen sich an irgendwelchen harten Gegenständen, meist Muschel- oder Schneckenschalen fest und bilden dann durch Knospung Kolonien. Die Wassertiefe muß also mindestens so groß sein, daß die Schalen, die zum Festsetzen dienen, nicht mehr durch Wellenbewegung gerollt werden. Dadurch wird vermutlich die Obergrenze für die Verbreitung gesetzt. Der gefundene Wert von ca. 6.5 m dürfte dieser hypothetischen Grenze nahekommen (SVERDRUP et al. 1954). Die hohen Raten an suspendiertem Material, die zum Großteil durch einmündende Flüsse, zum Teil aber auch durch Untergrund- und Küstenerosion (weiches Flyschgestein) bedingt sind, lassen eine Besiedlung durch *Cladocora* nur an besonders geeigneter Stelle zu. Das untersuchte Areal des *Cladocora*-Riffs ist im Nordosten durch das Kap Piran gegen die Wirkung der Bora, eines überaus heftigen Fallwindes, geschützt. Nach den anderen Seiten fällt die *Cladocora*-Bank ab. Die Rinne, die südlich der Population senkrecht zum Ufer verläuft, verlangsamt durch die größere Tiefe die Süd-Nord-Strömung. Das führt zu einer erhöhten Sedimentation, während über der Bank selbst, durch die höhere Strömungsgeschwindigkeit, das Material in Schwebelage gehalten wird. Die Tatsache, daß bei dem Versetzungsexperiment Teile der größten Kolonien überlebt haben, läßt den Schluß zu, daß es gegen das Zusedimentieren ein "Entkommen durch Wachstum" geben könnte. Jedoch ist dies durch die Häufigkeit der Ereignisse, die zu erhöhtem Seston Gehalt führen, sowie wegen des langsamen Korallenwachstums höchst unwahrscheinlich.

Daß das Licht für riffbildende Madreporarier ein limitierender Faktor ist, ist längst bekannt. In den Gewässern hoher Turbidität der Nordadria dürfte die Begrenzung zum offenen Meer hin (in ca. 18-20 m Tiefe) wesentlich durch nicht mehr ausreichende Lichtintensitäten verursacht sein. Wie die Experimente mit ^{45}Ca gezeigt haben, wird durch die geringe Lichtintensität das Wachstum stark verlangsamt. Dazu kommt die niedrigere Durchschnittstemperatur, die nicht nur den Stoffwechsel verlangsamt, sondern auch das Lösungsgleichgewicht zu Ungunsten der Ausfällung von Calciumkarbonat verschiebt. Durch dieses stark verlangsamte Wachstum mit zunehmender Tiefe erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, daß andere Arten einen höheren Adaptivwert erreichen und so *Cladocora* verdrängen. Es wurde gezeigt, daß dies tatsächlich in hohem Maße der Fall ist.

Alle anderen untersuchten Faktoren sind innerhalb des untersuchten Gebietes relativ konstant, und es ist anzunehmen, daß der Toleranzbereich von *Cladocora* in keinem Fall überschritten wird. Somit sind alle diese Parameter für eine Limitierung nicht wichtig, zumal *Cladocora* gegen viele abiotische Faktoren durchaus als euryplastische (stabile) Art bezeichnet werden kann, was nach KINNE (1956) häufig mit einer gewissen Labilität gegenüber biotischen Faktoren einhergeht.

5. Zusammenfassung

Ein *Cladocora cespitosa*-Vorkommen sehr hoher Abundanz bei Piran / Jugoslawien wird beschrieben (bis ca. 50% Flächendeckung bei Koloniegrößen von max. 2 m Durchmesser). Die Art wandelt dort den Weichboden in einen sekundären Hartboden um und erhöht die Diversität der Fauna und die Abundanz vieler Arten. Die scharfe Begrenzung der Population erleichtert eine ökologische Analyse im Hinblick auf limitierende Faktoren.

Siebzehn Parameter, die für eine Limitierung in Frage kommen könnten, werden vergleichend innerhalb und außerhalb des *Cladocora*-Arealen untersucht. Drei davon erweisen sich als die in der Hauptsache limitierenden:

Sediment und Sedimentationsraten innerhalb und außerhalb des untersuchten *Cladocora*-Arealen unterscheiden sich deutlich voneinander. Durch ein Delokationsexperiment wird nachgewiesen, daß die Sedimentation in einer ansonsten für das Wachstum günstigen Tiefe die Ausbreitung begrenzt.

Die relativ hohe Turbidität führt zu einem schnellen Lichtabfall mit zunehmender Tiefe. Anhand von Laborexperimenten wird nachgewiesen, daß das Wachstum von *Cladocora* von den Zooxanthellen und damit auch lichtabhängig ist.

Es wird gezeigt, daß Epifauna die *Cladocora*-Kolonien mit zunehmender Tiefe häufiger überwächst und tötet. Auf diese Weise tragen biotische Faktoren nicht unwesentlich zur Limitierung bei.

Prof. O. Siebeck und Prof. J. Sutherland danke ich für Hilfe und Diskussionen. Dr. H. Forstner und A. Augustin, die mich selbstlos unterstützten, danke ich ebenso wie den Mitarbeitern von Prof. R. Riedl. Die Arbeit konnte ich als Gast am Meeresbiologischen Institut der Univ. Ljubljana in Portorož durchführen; sie wurde vom DAAD unterstützt.

Literatur

- BARNES D.J., TAYLOR D.L., 1973: In situ studies of calcification and photosynthetic carbon fixation in the coral *Montastrea annularis*. Helgol. wiss. Meeresunters. 24: 284-291.
- BUCHSBAUM-PEARSE V., MUSCATINE L., 1971: Role of symbiotic algae (*Zooxanthellae*) in coral calcification. Biol. Bull. 141: 350-363.
- GOREAU T.F., BOWEN V.T., 1955: Calcium uptake by a coral. Science 122.
- , GOREAU N.I., 1959: The physiology of skeleton formation in corals. II. Calcium deposition by hermatypic corals under various conditions in the reef. Biol. Bull. 117: 239-250.
- KAWAGUTI S., SAKUMOTO D., 1948: The effect of light on the calcium deposition of corals. Bull. Oceanogr. Inst. Taiwan 4: 65-70.
- KINNE O., 1956: Über den Wert kombinierter Untersuchungen für die ökologische Analyse. Naturwissenschaften 43: 8-9.
- ODUM H.T., CANTLON, KORNICKER, 1960: An organizational hierarchy postulate for the interpretation of species individual distributions, species entropy, ecosystem evolution and the meaning of a species variety index. Ecology 41: 395-399.
- PORTER J.W., 1972: Ecology and species diversity of coral reefs on opposite sides of the Isthmus of Panama. Bull. Biol. Soc. Wash. 2: 89-116.
- SANDERS H.L., 1968: Marine benthic diversity. Am. Naturalist 102/925: 242-282.
- SCHUHMACHER H., 1976: Korallenriffe. München/Bern/Wien (BLV): 268 S.
- SIEBECK H.O., 1960: Untersuchungen über die Vertikalwanderung planktischer Crustaceen unter Berücksichtigung der Strahlungsverhältnisse. Diss. Univ. München.
- SVERDRUP H., JOHNSON, FLEMING, 1954: The oceans, their physics, chemistry, and general biology. New York (Prentice-Hall).
- THORSON G., 1957: Bottom communities. Geol. Soc. Am. Mem. 67: 461-534.
- VOGEL A.L., 1943: A textbook of quantitative inorganic analysis. London (Longmans): 856 pp.
- YONGE C.M., MAYOR, 1940: The biology of reef-building corals. Gt. Barr. R. Exp. Sci. Rep. 1: 135-211.

Adresse

Dipl.-Biol. Wolfgang Tins
Zoologisches Institut der Universität
Seidlstr. 25

D-8000 München 2

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1978

Band/Volume: [7_1978](#)

Autor(en)/Author(s): Tins Wolfgang

Artikel/Article: [Biotische und abiotische Limitierung bei der Koralle *Cladocora cespitosa* \(Madreporaria\) 79-87](#)