

N. Jb. Geol. Paläont. Mh.	Jg. 1975, H. 1	1—11	Stuttgart, Jan. 1975
---------------------------	----------------	------	----------------------

Die Isotopenzusammensetzung von Molluskenschalen am Beispiel der Gastropoden

Isotopic composition of mollusc shells, exemplified by gastropods

Von K. Bandel, Bonn, und J. Hoefs, Göttingen

Mit 5 Tabellen im Text

BANDEL, K. & HOEFS, J.: Die Isotopenzusammensetzung von Molluskenschalen am Beispiel der Gastropoden. [Isotopic composition of mollusc shells, exemplified by gastropods.] — N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 1975, H. 1, 1—11, Stuttgart 1975.

Abstract: Carbon and oxygen isotopic compositions of 56 Recent gastropods indicate that (1) no correlations seem to exist with taxonomy and that (2) there is no clear-cut relationship to the mode of life and environment, except the well-known distinction of marine and fresh-water forms. On the other hand (3) metabolic effects during carbonate precipitation seem to affect the isotopic composition. This makes a determination of the water temperature impossible.

Key words: Gastropoda, skeleton¹, calcitization, C-isotope, O-isotope, paleotemperature, critical review.

Zusammenfassung: Der Gehalt an Kohlenstoff- und Sauerstoff-Isotopen bei 56 rezenten Gastropoden-Arten zeigt (1) keine Abhängigkeit von der taxonomischen Stellung und (2) keine eindeutige Beziehung zum Lebensraum und zur Lebensweise außer dem bekannten Unterschied zwischen Meeres- und Süßwasser-Bewohnern. Dagegen scheinen (3) Stoffwechselvorgänge bei der Kalzifizierung die Isotopen-Zusammensetzung zu beeinflussen. Eine Bestimmung der Wassertemperatur auf diesem Wege ist daher nicht möglich.

Einleitung

Die Isotopenzusammensetzung karbonatbildender Organismen wird durch drei Faktoren bestimmt:

1. die Isotopenzusammensetzung des Wassers, aus dem die Organismen Karbonat ausscheiden,
2. die Temperatur des Wassers,
3. der Stoffwechsel des Organismus.

Seit UREY (1947) zum ersten Male postulierte, daß es im Prinzip möglich sein sollte, mit Hilfe der Sauerstoffisotopen-Zusammensetzung von karbonatabscheidenden Organismen die Temperatur der Ozeane in der geologischen Vergangenheit zu bestimmen, glaubte man, daß nur die Faktoren

1. und 2. bei der Karbonatabscheidung von Bedeutung sind. Das schien sich auch nach den ersten experimentellen Untersuchungen von EPSTEIN et al. (1953) zu bestätigen. Inzwischen haben aber umfangreiche Untersuchungen, hauptsächlich von WEBER und Mitarbeitern, ergeben, daß der Stoffwechsel des schalenbildenden Organismus die Karbonatausfällung beeinflussen kann. In diesem Zusammenhang erschien uns die Frage interessant, ob bei den Mollusken ebenfalls metabolische Effekte eine Rolle spielen können. Dazu wurden aus der Gruppe der Gastropoden rezente Formen hauptsächlich aus der südlichen Karibik untersucht, bei denen die Lebensbedingungen (Temperatur, Salinität, Ernährungsweise etc.) durch einen der Autoren in Detail untersucht worden waren (BANDEL 1973, 1974 im Druck). Dazu wurden 56 Schalen einer Analyse der C- und O-Isotopenzusammensetzung unterzogen. Das Material, aus dem die Schale der Mollusken gebildet wird, durchläuft vor seiner Ablagerung den Körper des jeweiligen schalenbildenden Individuums. Die Bestandteile der mineralischen Schale (CaCO_3) werden vom Mantelgewebe in die extrapalliale Flüssigkeit hinein ausgeschieden und lagern sich über noch unbekannte Mechanismen in bestimmter mineralischer und struktureller Zusammensetzung der Schaleninnenseite an. Bei Durchgang durch den Körper des Tieres sowie beim Sekretionsvorgang können selektive Prozesse ablaufen, bei denen eine Isotopenfraktionierung stattfinden kann. Die Herkunft des Kohlenstoffs und des Sauerstoffs in der Schale ist ebenfalls nicht genau bekannt, so daß als Quellen das Meerwasser, darin gelöste Gase und die Nahrung in Frage kommen.

Methodik

40 mg der feingepulverten Probe wurden mit 100%iger Phosphorsäure nach der von MCCREA (1950) beschriebenen Methode reagiert. Das CO_2 wurde mit einem Atlas-CH₄-Massenspektrometer mit Doppelgaseinlaßsystem gemessen. Die δ -Werte sind wie üblich definiert und relativ zum PDB-Standard angegeben. Die von CRAIG (1957) angegebenen Korrekturen wurden mit einem FORTRAN IV-Programm durchgeführt. Die Reproduzierbarkeit der Meßwerte ist im allgemeinen besser als $\pm 0,2$ ‰. Temperaturen wurden nach der von EPSTEIN et al. (1953) angegebenen empirischen Formel berechnet:

$$t^{\circ} \text{C} = 16,9 - 4,2 \Delta + 0,13 \Delta^2$$

Bis auf einige Schalen pazifischer Strombiden, welche dankenswerterweise von Herrn E. WILS (Lillo Fort, Antwerpen) zur Verfügung gestellt wurden, sind alle anderen von einem der Autoren (K. BANDEL) gesammelt worden. Das meiste Material kam während eines 18monatigen Aufenthaltes in Santa Marta, Kolumbien, zusammen, der speziell dazu diente, Prosobranchierfaunen in ihren Lebensgewohnheiten im Meer und im

Aquarium zu untersuchen (Deutsche Forschungsgemeinschaft Er/26). Alle Gehäuse, auch diejenigen von der Nordsee und den Kanarischen Inseln, entstammen Tieren, die lebend aufgesammelt wurden. Das Gehäuse wurde sodann mechanisch mit dem Zahnarztbohrer gesäubert und anschließend zermörsert. Von jedem individuellen Gehäuse wurden verschiedene Abschnitte zu einer Probe zusammengefaßt und gemahlen, so daß die Analyse als Gesamtanalyse eines Gehäuses gelten kann.

Ergebnisse und Diskussion

Isotopenzusammensetzung einer Prosobranchierfamilie

Als erstes wurde die Isotopenzusammensetzung in Abhängigkeit von taxonomischen Gegebenheiten innerhalb einer Familie aus verschiedenen Meeresgebieten untersucht. Das wurde an Vertretern der Familie Strombidea ausgeführt, deren einzelne Vertreter eine im großen und ganzen gut vergleichbare Lebensweise besitzen und ähnliche Biotope besiedeln. In der Regel gehören sie dem vagilen Benthos an und nehmen als Nahrung Algen auf, die im gut durchlichteten lagunären Bereich und in Seegrasbiotopen wachsen. Die einzige Ausnahme hierzu stellt *Aporrhais pespellicani*, welcher eine filtrierende Lebensweise führt und auch noch größere Tiefen besiedelt (über 10 m Tiefe) als der Rest der hier aufgeführten Arten. Diese Art ist auch die einzige der hier aufgeführten, die nicht dem tropischen, sondern dem mediterranen Bereich entstammt.

Wir stellen bei diesen Werten eine relativ starke Schwankungsbreite bei den $\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werten fest, die keinerlei taxonomische Auswir-

Tab.1. Isotopenzusammensetzung einer Prosobranchierfamilie.

	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$
<i>Strombus gigas</i> — Karibik	— 1,0	— 0,6
<i>Strombus costatus</i> — Karibik	— 1,4	— 0,3
<i>Strombus pugilis</i> — Karibik	0,7	— 0,1
	0,9	— 0,5
	0,7	— 1,0
	1,2	— 1,2
<i>Strombus raninus</i> — Karibik	0,6	— 1,7
<i>Strombus sinuatus</i> — Pazifik	1,2	— 2,1
<i>Strombus latissimus</i> — Pazifik	— 0,1	— 2,0
<i>Strombus canarium</i> — Pazifik	— 0,8	— 1,7
<i>Strombus labiatum</i> — Pazifik	— 2,3	— 2,5
<i>Lambis lambis</i> — Pazifik	1,6	— 2,1
<i>Lambis scorpio</i> — Pazifik	0,5	— 1,0
<i>Pterocera millepeda</i> — Pazifik	1,7	— 1,4
<i>Aporrhais pespellicani</i> — Mittelmeer	— 1,2	— 0,9

kungen erkennen läßt. Eine solche Auswirkung müßte ja darin zum Ausdruck kommen, daß die Isotopenzusammensetzung einer Familie in sich ähnlich wäre und sich von der anderen Familie unterscheidet, was aber keineswegs der Fall ist. Die relativ breite Streuung bei Vertretern dieser Familie aus der Karibik läßt sich wohl darauf zurückführen, daß die Individuen oft lagunäre Biotope besiedeln. Hier sind hohe Wassertemperaturen erreicht, und starke Verdunstungseffekte treten auf. Die nicht vorhandene taxonomische Auswirkung läßt sich auf alle hier untersuchten Gastropoden verallgemeinern.

Isotopenzusammensetzung von Prosobranchiern aus der Nordsee, vom Atlantik und von der Karibischen See

Als zweiter Punkt sollte geklärt werden, inwieweit sich die Zusammensetzung der C- und O-Isotopen in den Schalen ökologisch vergleichbarer Prosobranchier aus der Nordsee, vom Atlantik und von der Karibischen See voneinander unterscheiden. Dieser Vergleich wird ein wenig dadurch erschwert, daß das Material aus der Oosterschelde unter normalen Nordseebedingungen aufwuchs, die hinsichtlich der Salinität nicht ganz den Bedingungen des vollmarinen Bereichs entsprechen. Es sollten sich jedoch trotz allem Unterschiede erkennen lassen, denn die mittleren Wassertemperaturen der Oosterschelde liegen bei etwa 12 ° C, bei den Kanarischen Inseln (Atlantik) etwa bei 18 ° C und in der Karibischen See bei Santa Marta etwa bei 26 ° C.

Die jeweils zuerst aufgeführte Art lebt von pflanzlicher Nahrung und die zweite von tierischer Nahrung. Berechnet man nun die Temperaturen

Tab. 2. Die Isotopenzusammensetzung von Prosobranchiern aus der Nordsee, vom Atlantik und von der Karibischen See.

	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$	T °C
Nordsee			
<i>Littorina littorea</i>	— 1,2	— 0,2	18
<i>Buccinum undatum</i>	— 0,9	— 1,2	22
Atlantik			
<i>Cerithium vulgatum</i>	2,0	0,8	14
<i>Conus ventricosus</i>	1,7	1,1	12
Karibe			
<i>Strombus pugilis</i>	0,7	— 0,1	17
	0,9	— 0,5	19
	0,7	— 1,0	21
	1,2	— 1,2	22
<i>Xancus angulatus</i>	1,3	— 1,2	22

nach der gebräuchlichen Formel, so kommt man im Vergleich mit den tatsächlichen Werten zu sehr abweichenden Temperaturen, die kaum eine Aussagekraft besitzen. Diese Diskrepanz zwischen tatsächlicher und berechneter Temperatur wird auch nicht durch das Argument, daß bestimmte Organismen nur bei bestimmten Temperaturen Schalen aufbauen, aufgehoben. Das Schalenwachstum bei diesen Arten erfolgt nur insoweit in Verbindung zu bestimmten Temperaturen, als etwa Oosterscheldeformen nahe dem Gefrierpunkt inaktiv werden und daher nicht Schale bauen.

Führt man den Winter 1973/1974 als Beispiel an, so erfolgt praktisch während des ganzen Winters ohne Unterbrechung bei günstigen Ernährungsbedingungen ein Weiterbau der Schale der Muscheln und Schnecken.

Isotopenzusammensetzung in Beziehung zum Lebensort der schalenabscheidenden Art

Mit Material aus einer tropischen Lebensgemeinschaft mit sehr gleichförmigen Temperaturverhältnissen im Wasser und auf dem Land soll die Abhängigkeit der C- und O-Isotopenverhältnisse verschiedener Arten in Relation zu ihrem Lebensbereich festgestellt werden. Hierbei wird Material von Schneckengehäusen aus der Region von Santa Marta, Kolumbien, benutzt. Alle Tiere wurden eigenhändig gesammelt, und innerhalb langer Untersuchungsreihen wurden ihre Lebensgewohnheiten erfaßt. In den Lebensbereichen dieser Arten herrschten zu allen Zeiten Luft- und Wassertemperaturen, die 24°C nie unterschritten (Tab. 3).

Die vollmarinen Arten der hier analysierten karibischen Fauna zeigen eine Schwankungsbreite von $-1,4$ bis $4,4$ ‰ für die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte und von $-2,5$ bis $0,5$ ‰ für die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte. Die Formen des Brackwassers weisen $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zwischen $-3,5$ und $-11,7$ ‰ und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte zwischen $-4,8$ und $0,5$ ‰ auf. Die Landbewohner *Chondropoma* sp. und *Cerion uva* sind Bewohner der trockenen Kakteenwüste der Insel Curacao (Niederländische Antillen). Sie weisen besonders schwere Werte hinsichtlich der Sauerstoffisotopenzusammensetzung auf. Die schweren Sauerstoffisotopenwerte der beiden Wüstenbewohner sind wahrscheinlich auf die dort herrschenden hohen Verdunstungsraten zurückzuführen, die sowohl auf das die Schnecke allein zur Aktivität erweckende Tau- und Regenwasser als auch auf die pflanzliche Nahrung einwirken. *Strophocheilus* sp. lebt an Bäumen im tropischen Regenwald der Sierra Nevada von Santa Marta und kann hier fast im gesamten Jahr aktiv bleiben. *Orthaliscus ferussaci* dagegen bewohnt Bäume und große Kakteen des semiariden Bereichs um Santa Marta (Buchten von Villa Concha, Chengue, Cinto), ist nur innerhalb der Monate der Regenzeit aktiv und bleibt während der Trockenzeit inaktiv. Trotz dieser großen Unterschiede in der Gesamtökologie erfolgt aber die Nahrungsaufnahme beider Arten unter vergleichbaren Be-

dingungen und gleichartig zusammengesetztem Regenwasser, was sich in den sehr ähnlichen Isotopenverhältnissen beider Arten widerspiegelt. Für die relativ schweren Kohlenstoffisotopenwerte läßt sich folgendes feststellen: Normalerweise finden wir für Landpflanzen nach SMITH & EPSTEIN (1971) $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zwischen -25 und -34 , dagegen können Wüstenpflanzen $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von bis zu -6 ‰ annehmen.

Im Ästuarbereich und in der Region der brackischen Lagunen und Mangrovensümpfe treffen wir ein breites Spektrum von Isotopenverhältnissen an, welches zwischen dem der Bewohner des Süßwassers und dem der vollmarinen Mollusken liegt und die wechselnden Salinitäts- und Verdunstungsbedingungen widerspiegelt. Für die vollmarinen, unter der Gezeitenzone lebenden Prosobranchierarten lassen sich keinerlei Möglichkeiten für eine ökologische Untergliederung erkennen.

Im folgenden soll die Ernährungsweise der vollmarinen Formen aufgeschlüsselt und die Einwirkung auf die Isotopenzusammensetzung ermittelt werden.

Tab. 3. Isotopenzusammensetzung in Beziehung zum Lebensort der schalenabscheidenden Art.

	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$
Marine Weichböden, sandig (Tiefe 0,5—5 m)		
<i>Strombus raninus</i>	0,6	— 1,7
<i>Strombus pugilis</i>	0,7 bis 1,2	— 1,2 bis — 0,1
<i>Strombus gigas</i>	— 1,0	— 0,6
<i>Strombus costatus</i>	— 1,4	— 0,3
<i>Cassis tuberosa</i>	3,2	0,1
<i>Vasum muricatum</i>	0,8	— 0,2
<i>Oliva reticularis</i>	0,6	— 0,3
<i>Cypraea testiculus</i>	1,4	— 0,1
Marine Weichböden, schlammig (Tiefe 2—8 m)		
<i>Terebra taurinus</i>	1,7	— 0,1
	2,4	— 0,9
<i>Voluta virescens</i>	0,4	— 0,2
	— 1,2	— 1,7
<i>Xancus angulatus</i>	1,3	— 0,4
<i>Turritella variegata</i>	2,0	0,0
	1,2	0,1
Korallenriff (Tiefe 0—5 m)		
<i>Astraea caelata</i>	2,7	0,5
<i>Coralliophila caribaea</i>	0,5	— 1,6
<i>Cyphoma gibbosum</i>	1,5	— 1,0
<i>Cypraea cebra</i>	1,8	— 0,8
<i>Charonia nobilis</i>	2,2	— 1,0

Tab. 3 (Fortsetzung)	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$
Fels im Gezeitenbereich (Tiefe um 0 m)		
<i>Fissurella nodosa</i>	2,3	— 0,1
<i>Cittarium pica</i>	0,8	— 1,0
<i>Thais deltoidea</i>	1,0	— 0,8
<i>Leucozonia nassa</i>	— 0,9	— 0,8
Fels über Gezeitenbereich (bis 4 m über 0)		
<i>Purpura patula</i>	1,1	— 1,1
<i>Nerita versicolor</i>	3,8	0,4
<i>Nerita fulgurans</i>	4,4	0,3
<i>Tectarius muricatus</i>	— 3,6	— 2,5
Estuarbereich, Wechsel Süßwasser und Salzwasser (um 0)		
<i>Neritina virginea</i>	— 3,7	— 4,8
<i>Melampus coffeus</i> (Pulmonate)	— 11,7	0,5
<i>Neritina piratica</i>	— 10,9	— 4,2
<i>Melongena melongena</i>	— 3,6	— 0,8
	— 4,8	0,4
<i>Polymesoda carolineana</i> (Muschel)	— 3,5	— 2,4
Süßwassersee und Fluß		
<i>Ampullarius porphyrostomus</i>	— 11,3	— 5,2
<i>Ampullarius monticolus</i>	— 11,3	— 6,3
<i>Marisa cornuarietes</i>	— 10,3	— 3,5
Land		
<i>Chondropoma</i> sp.	— 4,6	1,0
<i>Cerion uva</i>	— 3,9	— 0,5
<i>Strophocheilus</i> sp.	— 13,6	— 6,1
<i>Orthaliscus ferrusaci</i>	— 13,4	— 6,1

$\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von vollmarinen herbivoren Gastropoden

Bei vollmarinen Pflanzenfressern finden wir eine Schwankungsbreite der C- und O-Isotopenzusammensetzung, die die gesamte bei allen anderen marinen Arten zusammen angetroffene umfaßt. Die extremen Exponenten bezüglich der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte stellen die Vertreter der Gattung *Nerita*, die sich oberhalb des mittleren Gezeitenbereichs in der Spritzwasserzone aufhalten und dort wachsende Pflanzenkrusten abschaben. Verschiedene Individuen der einen Art *Strombus pugilis*, die alle aus einander ähnlichen Seegrasbiotopen entnommen wurden, zeigen eine starke Schwankung bezüglich der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte, die fast den gesamten Bereich überspannen, der bei pflanzenfressenden Prosobranchiern überhaupt angetroffen wird. Errechnet man aus diesen Daten die Temperatur, so ergäbe sich ein Unterschied von etwa 5°C , unter der die verschiedenen Individuen ihre Schale gebaut haben sollten. Dem steht jedoch gegenüber, daß das Wasser im

Lebensbereich dieser Art bei Santa Marta nur Temperaturschwankungen von wenigen Graden aufweist (bis maximal 3°C). So ernähren sich die verschiedenen Arten der Gattung *Strombus* von zumeist im Seegrasbiotop wachsenden feinen Algen, *Turritella variegata* filtert Phytoplankton aus dem Wasser, *Astraea caelata* und *Fissurella nodosa* schaben vornehmlich Kalkalgen als Nahrung vom Fels ab, und *Cittarium pica* sowie die beiden Vertreter der Gattung *Nerita* fressen nicht-kalkige Algen. All dieses scheint keinen erkennbaren Einfluß auf die Isotopenzusammensetzung zu haben. Auch die mineralogische Zusammensetzung der Schale, die bei den meisten fast vollständig aus Aragonit besteht, bei *Cittarium pica*, *Astraea caelata*, *Nerita versicolor* und *Nerita fulgurans* aber bis 50 % Calzit aufweist, scheint keinen erkennbaren Einfluß auf die Isotopenzusammensetzung zu haben, was im Widerspruch zu den Untersuchungen von TARUTANI et al. (1969) und RUBINSON et al. (1969) steht.

Tab. 4. $\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von vollmarinen herbivoren Gastropoden.

	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$
<i>Strombus raninus</i>	0,6	— 1,7
<i>Strombus gigas</i>	— 1,0	— 0,6
<i>Strombus costatus</i>	— 1,4	— 0,3
<i>Strombus pugilis</i>	— 0,9	— 1,2
	— 0,7	— 1,0
	— 0,7	— 0,5
	1,2	— 0,1
<i>Turritella variegata</i>	1,1	0,0
	2,0	0,1
<i>Astraea caelata</i>	2,7	0,5
<i>Fissurella nodosa</i>	2,3	— 0,1
<i>Cittarium pica</i>	0,8	— 1,0
<i>Nerita versicolor</i>	3,8	0,4
<i>Nerita fulgurans</i>	4,4	0,3

$\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von carnivoren vollmarinen Gastropoden

Die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte (0,4–3,2) überdecken sich weitgehend mit denen der pflanzenfressenden Arten, nur fehlen hier leichtere Werte als 0,4. Die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der beiden Gruppen sind ebenfalls nicht unterscheidbar. Gliedert man die räuberisch lebenden Arten nach der Art der aufgenommenen Nahrung auf, so können *Cassis tuberosa*, *Cypraea testiculus* und *Charonia nobilis* zusammengefaßt werden, die alle Echinodermen, vornehmlich Seeigel fressen. Würmer stellen die Hauptnahrung der Arten *Vasum muricatum*, *Oliva reticularis*, *Terebra taurinus*, *Voluta virescens* und *Xancus angulatus* dar. Cirripedier und Mollusken werden von *Thais*

deltoides, *Leucoconia nassa* und *Purpura patula* erbeutet. *Cypraea cebra* weidet Tunikaten-Kolonien ab, und an Gorgonarien leben sowohl *Corallio-
phila caribaea* als auch *Cyphoma gibbosum*, wobei letztere die Polypare des Coelenteraten abweidet, während erstere am Wurzelwerk der Anheftung parasitiert. Es lassen sich aber keine hervortretenden Gemeinsamkeiten zwischen Isotopenzusammensetzung der Schale und Ernährungsweise der einzelnen Arten erkennen. Am Beispiel der innerspezifischen Schwankungen bei *Terebra taurinus* und *Voluta virescens* läßt sich ersehen, daß diese schon weitgehend die überhaupt allgemein auftretende Schwankungsbreite erreicht.

Betrachtet man Freßgewohnheiten und Lebensraum zusammen, so läßt sich für vollmarine, karibische Prosobranchier keine ökologische Abhängigkeit der Isotopenzusammensetzung in der Schale erkennen.

Tab. 5. $\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von carnivoren vollmarinen Gastropoden.

	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$
<i>Cassis tuberosa</i>	3,2	0,1
<i>Cypraeacassis testiculus</i>	1,4	— 0,1
<i>Charonia nobilis</i>	2,2	— 1,0
<i>Vasum muricatum</i>	0,8	— 0,2
<i>Oliva reticularis</i>	0,6	— 0,3
<i>Terebra taurinus</i>	1,7 bis 2,4	— 0,9 bis — 0,1
<i>Voluta virescens</i>	0,4 bis 1,2	— 1,7 bis — 0,2
<i>Xancus angulatus</i>	1,3	0,4
<i>Coralliophila caribaea</i>	0,5	— 1,6
<i>Cyphoma gibbosum</i>	1,5	— 1,0
<i>Cypraea cebra</i>	2,2	— 1,0
<i>Thais deltoides</i>	1,0	— 0,8
<i>Leucozonia nassa</i>	0,9	— 0,8
<i>Purpura patula</i>	1,1	— 1,1

Schlußbetrachtungen

Die Arbeiten von WEBER & WOODHEAD (1970), WEBER (1973) und KEITH & WEBER (1965) haben gezeigt, daß bei Coelenteraten-Skeletten durch Stoffwechsel bewirkte Unterschiede in der Isotopenzusammensetzung zu im gleichen Bereich anorganisch kristallisiertem Calciumkarbonat (Aragonit) auftreten können. Auch bei Echinodermen-Skeletteilen, die aus Calcit bestehen, sind nach WEBER (1968), WEBER & RAUP (1966, 1968) ^{12}C und ^{18}O stärker angereichert als im anorganisch ausgefällten Kalzit des gleichen Lebensraumes. Hier zeigen sich sogar Unterschiede in der Isotopenzusammensetzung verschiedener Hartteile eines einzigen Individuums.

Demgegenüber haben EPSTEIN et al. (1953) angenommen, daß die Mollusken ihre Schale im Isotopengleichgewicht mit dem Wasser ablagern.

Die Autoren führten Aquarienversuchsreihen mit *Haliotis* (Archaeogastropode) und *Strombus* (Mesogastropode) durch, die diese Annahme zu bestätigen schienen. Dort, wo zu hohe oder zu niedrige Temperaturen aus den Isotopenverhältnissen ermittelt wurden, wurden Spekulationen bezüglich der individuellen Schalenbildung angestellt, wie dies EPSTEIN & LOWENSTAM (1953) für die Muscheln *Chama* und *Pinctada radiata* durchführten.

Aus den in dieser Arbeit vorgeführten Daten läßt sich ersehen, daß kein Isotopengleichgewicht zwischen Isotopenzusammensetzung des Meerwassers und der Schale der Prosobranchier herrscht. Ja, der selektive Effekt des Stoffwechsels bewirkt sogar, daß sich die verschiedenartigen Ernährungsweisen in der Isotopenzusammensetzung der Schale nicht wiederfinden lassen. In den hier untersuchten Individuen einer Art der gleichen Population werden Temperaturunterschiede bis zu 5 ° C gefunden, trotz weitgehend gleichförmiger Wassertemperatur während des ganzen Jahres. Zusätzliche Unsicherheit für die paläontologische Fragestellung liegt in der Tatsache begründet, daß eine vollmarine Fauna in einem breiten Salinitätsspektrum leben kann. So liegen z. B. Salinitätsgehalte in der Karibe bei 35 im offenen Meer, im Mittelmeer zeigen verschiedene Meeresteile einen Variationsbereich von 36 bis 39 und im Roten Meer von 38 bis 41 ‰. Nach EPSTEIN & MAYEDA (1953) geht jede Salinitätsänderung um 1 ‰ mit einer Änderung des ¹⁸O-Gehaltes um ungefähr 0,2 ‰ einher, was also schon bei vollmarinen Faunen fossil im Faunenspektrum nicht erkennbare Abweichungen bis zu 6 ° C bedeuten könnte, die der innerspezifischen, individuellen Schwankungsbreite unter Umständen noch hinzuzurechnen wären.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß zumindest bei den hier untersuchten rezenten Gastropoden eine Bestimmung der Wassertemperatur aus dem Sauerstoff- und Kohlenstoff-Isotopenverhältnis der kalkigen Schale nicht möglich ist, was natürlich eine Anwendung auf „Paläotemperaturen“ erst recht unmöglich macht.

Literatur

- BANDEL, K.: Notes on *Cypraea cinera* GMELIN and *Cyphoma gibbosum* (LINNAEUS) from the Caribbean Sea and description of their spawn. — *Veliger*, **15**, 335—337, 1973.
- Radular characters in Littorinid (Mollusca, Gastropoda) systematics. — *Veliger*, **18**, 1974, im Druck.
- CRAIG, H.: Isotopic standards for carbon and oxygen and correction factors for mass-spectrometric analysis of carbon dioxide. — *Geochim. Cosmochim. Acta*, **12**, 133, 1957.
- EPSTEIN, S. & MAYEDA, T. K.: Variations of the O¹⁸/O¹⁶ ratio in natural waters. — *Geochim. Cosmochim. Acta*, **4**, 213, 1953.

- EPSTEIN, S. & LOWENSTAM, H. A.: Temperature-shell-growth relations of recent and interglacial Pleistocene shoal-water biota from Bermuda. — *J. Geol.*, **61**, 424, 1953.
- EPSTEIN, S., BUCHSBAUM, H. A., LOWENSTAM, H. A. & UREY, H. C.: Revised carbonate-water isotopic temperature scale. — *Bull. Geol. Soc. Amer.* **64**, 1315, 1953.
- KEITH, M. L. & WEBER, J. N.: Systematic relationship between carbon and oxygen isotopes in carbonate deposited by modern corals and algae. — *Science*, **150**, 498—501, 1965.
- MCCREA, J. M.: The isotopic chemistry of carbonates and a paleotemperature scale. — *J. Chem. Phys.*, **18**, 849, 1950.
- RUBINSON, M. & CLAYTON, R. N.: Carbon-13 fractionation between aragonite and calcite. — *Geochim. Cosmochim. Acta*, **33**, 997, 1969.
- SMITH, B. N. & EPSTEIN, S.: Two categories of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios for higher plants. — *Plant Physiol.*, **47**, 380, 1971.
- TARUTANI, F., CLAYTON, R. N. & MAYEDA, T. K.: The effect of polymorphism and magnesium substitution on oxygen isotope fractionation between calcium carbonate and water. — *Geochim. Cosmochim. Acta*, **33**, 987, 1969.
- UREY, H. C.: The thermodynamic properties of isotopic substances. — *J. Chem. Soc.*, **1947**, 562, 1947.
- WEBER, J. N.: Fractionation of the stable isotopes of carbon and oxygen in calcareous marine invertebrates: the Asteroidea, Ophiuroidea and Crinoidea. — *Geochim. Cosmochim. Acta*, **32**, 33, 1968.
- Deep-sea ahermatypic scleractinian corals: isotopic composition of the skeleton. — *Deep-Sea Res.*, **20**, 901, 1973.
- WEBER, J. N. & RAUP, D. M.: Fractionation of the stable isotopes of carbon and oxygen in marine calcareous organisms — the Echinoidea. — *Geochim. Cosmochim. Acta*, **30**, 681, 1966.
- WEBER, J. N. & WOODHEAD, P. M. J.: Carbon and oxygen fractionation in the skeletal carbonate of reef-building corals. — *Chem. Geol.*, **6**, 93, 1970.
- — Temperature dependence of oxygen-18 concentration in reef-building carbonates. — *J. Geophys. Res.*, **77**, 463, 1972.

Bei der Tübinger Schriftleitung eingegangen am 4. Juni 1974.

Anschriften der Verfasser:

- Dr. K. BANDEL, Institut für Paläontologie der Universität Bonn, 53 Bonn, Nußallee 8. Dr. J. HOEFS, Geochemisches Institut der Universität Göttingen, 34 Göttingen, Goldschmidtstraße 1.