

Untersuchungen von Anwachslineienrhythmen an Bivalvenschalen aus dem Oligozän des Mainzer Beckens

MATTHIAS C. GRIMM & KIRSTEN I. GRIMM

Kurzfassung: Anwachslineien von 20 Bivalvenschalen unterschiedlicher Oligozän-Fundstellen im Mainzer Becken und von 14 rezenten Bivalvenschalen wurden untersucht. Die rupelischen Formen dokumentieren 14tägige Anwachslineienrhythmen, die chattischen Mollusken zeigen eher jahreszeitlich bedingte Zyklen.

Abstract: Valves of 20 Oligocene pelecypods from the Mainz Basin and 14 recent valves were examined for growth patterns. Whereas the microgrowth increments of the Rupelian samples indicate fortnightly tidal intervals, the Chattian specimens show annual (seasonal) variations in growth.

Einleitung

Seit der Arbeit von WELLS (1963) über die Geochronologie von Korallen sind Anwachslineien bei allen möglichen Invertebratengruppen beschrieben worden. Besonders interessant sind rhythmische Anwachslineienmuster, da sich aus ihnen ökologische Schlußfolgerungen ziehen lassen. Bei Muscheln aus dem Oligozän des Mainzer Becken treten solche Anwachslineienmuster als deutlich sichtbare konzentrische Wachstumstreifen häufig auf. Wachstumstreifen gehen auf Anwachslineindrängungen zurück und sind bei Muscheln auf ein zeitweise eingeschränktes Mantelwachstum zurückzuführen.

Nach PANELLA (1975), LUTZ & RHOADS (1980), KENNISH (1980) und anderen gibt es folgende Anwachslineienrhythmen bei Mollusken:

- | | |
|------------------|--|
| Subtageslineien | (= subdaily, semidiurnal): Unscharf begrenzte Anwachslineien aus Schalenmaterial mit reichlich organischen Beimischungen, umgeben von calziumcarbonatischen Bereichen. Diese Linien können mehrfach innerhalb von 24 Stunden auftreten und gehen auf Stoffwechseländerungen innerhalb eines Tageszyklus, Mikromilieuschwankungen, unregelmäßig oder regelmäßig wiederkehrende Tagesereignisse und komplexe Zusammenhänge zwischen Lunar- und Solarzyklen zurück. |
| Tageslineien | (= daily, diurnal): Scharf begrenzte Anwachslineien aus calziumcarbonatischem Schalenmaterial, die zwischen je 2 Linien aus organischem Material liegen. Sie repräsentieren jeweils einen Sonntag und gehen auf regelmäßige Stoffwechsellerscheinungen der Individuen innerhalb eines Tagesablaufs zurück, die im wesentlichen auf das tägliche Öffnen (Calzifizierung) und das nächtliche Schließen (Decalzifizierung) der Klappen zurückzuführen sind. |
| Zweitageslineien | (= bidaily): Sie konnten im Mainzer Becken bisher nicht nachgewiesen werden. |

14-Tageszyklen	(= fortnightly): Sie bestehen aus je 6 bis 8 dünnen und 6 bis 8 dicken Tageslinien und repräsentieren je einen Spring-Nipptiden-Gezeitenzyklus.
Mondmonatszyklen	(= lunar-monthly): Gezeitenzyklencluster mit einem 29tägigen Rhythmus (entsprechend der synodischen Mondumlaufzeit). Sie sind auch auf der Außenseite von Muschelschalen erkennbar.
Subjahreszyklen	(= subannual): Regelmäßig wiederkehrende Ereignisse innerhalb eines Jahres, z. B. durch jährliche Minimum-Maximumtidenhübe oder das Freisetzen von Larven bzw. Eiern, führen zu Anwachs-liniendrängungen in regelmäßigen Abständen.
Jahreszyklen	(= annual): Jahreszeitliche Schwankungen der Temperatur und Tageslänge erzeugen Sommermaxima und Winterminima bei den Wachstumslinien.

Neben den periodischen Events gibt es auch eine Reihe von aperiodischen Ereignissen, die zu Wachstumslinien und zu weiteren Schalenmikrostrukturen führen können. Auf sie soll hier nicht näher eingegangen werden.

Für die Benutzung einer Präzisionssteinsäge danken wir Herrn Diplom-Geologen T. Schindler.

Material

An 20 Bivalven von unterschiedlichen Oligozän-Fundstellen im Mainzer Becken wurden im Vergleich zu 14 rezenten Bivalven rasterelektronen- und durchlichtmikroskopische Untersuchungen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden hinsichtlich der oben genannten Faktoren zur Entstehung von Anwachsstreifen diskutiert.

Es wurden Molluskenschalen von den folgenden Fundorten des Mainzer Beckens untersucht:

- Kreuzberg bei Bretzenheim/Nahe, Unterer Meeressand, Rupelium, Oligozän:
Glycymeris angusticostata (LAMARCK, 1805), *Callucina thierensi* (HEBERT, 1849), *Macrocallista splendida* (DESHAYES, 1858), *Saxolucina omaliusi* (DESHAYES, 1857), *Habecardium tenuisulcatum* (NYST, 1836), *Paralucinella conferta* (BRAUN, 1850), *Crassinella bronni* (DESHAYES, 1857), *Cyclocardia omaliana* (NYST, 1845)
- Sandgrube Wöllstein, Unterer Meeressand, Rupelium, Oligozän:
Hilberia hoeninghausi (DEFRANCE, 1825), *Chlamys (Aequipecten) composita* (GOLDFUSS, 1833), *Crassostrea cyathula* (LAMARCK, 1806)
- Sandgrube am Steigerberg bei Eckelsheim, Unterer Meeressand, Rupelium, Oligozän:
Glycymeris planicostalis (LAMARCK, 1819), *Codalucina tenuistria* (HÉBERT, 1849)
- Pfadberg bei Stackeden-Elsheim, Cyrenenmergel, Chattium, Oligozän:
Glycymeris planicostalis (LAMARCK, 1819), *Pelecypora (Cordiopsis) polytropa* (ANDERSON, 1959), *Pseudocyrena convexa* (BRONGNIART, 1822)
- Klein-Winternheim, Cyrenenmergel, Chattium, Oligozän:
Pseudocyrena convexa (BRONGNIART, 1822)
- Edesberg bei Sulzheim, Cyrenenmergel, Chattium, Oligozän:
Glycymeris planicostalis (LAMARCK, 1819), *Pseudocyrena convexa* (BRONGNIART, 1822)
- Steinbruch Mainz-Weisenau, Obere Cerithienschichten, Chattium, Oligozän:
Pseudocyrena donacina (SANDBERGER, 1861)

Zum Vergleich wurden rezente Molluskenschalen von folgenden Lokalitäten herangezogen:

- Französische Atlantikküste, Bretagne: *Glycymeris pilosa* (LINNÉ, 1767), *Donax vittatus* (DA COSTA, 1778), *Cerastoderma edule* (LINNÉ, 1758)

- Nordsee bei St. Peter-Ording: *Cerastoderma edule* (LINNÉ, 1758), *Spisula (Spisula) subtruncata* (DA COSTA, 1778)
- Italienische Adriaküste bei Martinsicuro: *Glycymeris pilosa* (LINNÉ, 1767), *Mytilus galloprovincialis* LAMARCK, 1819, *Acanthocardia tuberculata* (LINNÉ, 1758), *Acanthocardia paucicostata* (SOWERBY, 1839), *Macra corallina* (LINNÉ, 1758), *Spisula (Spisula) subtruncata* (DA COSTA, 1778), *Chamelea gallina gallina* (LINNÉ, 1758)
- Rhein bei Ingelheim: *Dreissena polymorpha* (PALLAS, 1771), *Corbicula fluminea* (MÜLLER, 1774)

Die Außenseiten der Bivalvenschalen wurden zunächst makroskopisch und mikroskopisch untersucht. Einige kleinere Individuen wurden zerbrochen, auf einem Objektträger befestigt und rasterelektronenmikroskopisch betrachtet. Da die Bivalvenschalen aufgrund der Aufschlußverhältnisse alle eine mehr oder weniger starke Oberflächenanätzung zeigen, wurde auf ein Anätzen der Schalen mit verdünnten Säuren, wie dies gewöhnlich zur Untersuchung von Anwachslineen vorgenommen wird, verzichtet. Auch hätte ein Großteil des Materials (sämtliche Meeressandbivalven) eine Säurebehandlung wegen ihrer kreidigen Schalenerhaltung nicht überstanden. Die Schalen kompletter Individuen wurden in Polyester gießharz eingebettet und orientiert durch den Wirbel entlang der direktiven Ebene im Sinne von LISON (1949) geschnitten. Die weiteren Beobachtungen erfolgten dann an daraus erstellten Dünnschliffen unter gekreuzten Nichols oder mit einem Fluoreszenzmikroskop.

Ergebnisse und Diskussion

Bereits bei der makroskopischen und auflichtmikroskopischen Untersuchung des Schalenmaterials fiel auf, daß die Bivalven aus den unterschiedlichen Meeressandvorkommen (Rupelium) auf der Schalenaußenseite neben den genetisch fixierten Anwachslineenmustern weitgehend keine rhythmische Anwachsstreifungen zeigen. Zudem bestehen die Glycymeriden des Meeressandes in ihrer inneren Schalenlage aus relativ gleichförmigen „cone CCL“ (CARTER 1980) Strukturen, deren Größe eher eine warme Wassertemperatur belegt (Abb. 1). Nahezu alle untersuchten Muscheln aus dem Chattium (Cyrenenmergel) zeigen dagegen auf der Schalenoberfläche deutliche Jahreszyklen. Diese Jahreszyklen werden von allen Bearbeitern von Anwachslineen bei Muscheln als jahreszeitliche Temperaturschwankungen mit einem Sommermaximum und einem Winterminimum gedeutet. Das Auftreten von solchen Jahreszyklen hängt von der Wassertiefe, dem jahreszeitlichen Temperaturgang des Meerwassers und der absoluten Winterminimumtemperatur des Meerwassers ab. Da jahreszeitliche Temperaturdifferenzen mit zunehmender Wassertiefe stärker abgepuffert werden, sind solche Anwachsstreifungen um so deutlicher, je geringer die Wasserbedeckung des Lebensraumes der einzelnen Arten ist. Entscheidend für die Ausbildung solcher Jahreszyklen ist dabei im wesentlichen die Temperaturdifferenz des umgebenden Meerwassers zwischen dem kältesten und dem wärmsten Monat im Jahr und nur untergeordnet die Winterminimumtemperatur. Ein Vergleich zwischen Schalenmaterial aus der mittleren Adria (Martinsicuro) mit Material aus der Nordsee (St. Peter-Ording) ergibt folgendes: In Martinsicuro treten nur bei einigen oberflächennah lebenden Arten (z. B. *Mytilus galloprovincialis*) jahreszeitliche Anwachsstreifen auf, während Schalen von bei 1 bis 5 m Wassertiefe lebende Arten kaum noch Jahreszyklen zeigen. In St. Peter-Ording sind jahreszeitliche Rhythmen dagegen wesentlich deutlicher auch bei flach marinen Arten ausgeprägt. In Martinsicuro beträgt das langjährige Mittel der Temperaturdifferenzen des Oberflächenwassers zwischen dem kältesten und dem wärmsten Monat ca. 15,5 °C (kältester Monat 10 °C, Jahresmittel > 17 °C, DAINELLI 1939), in St. Peter-Ording liegen die mittleren küstennahen

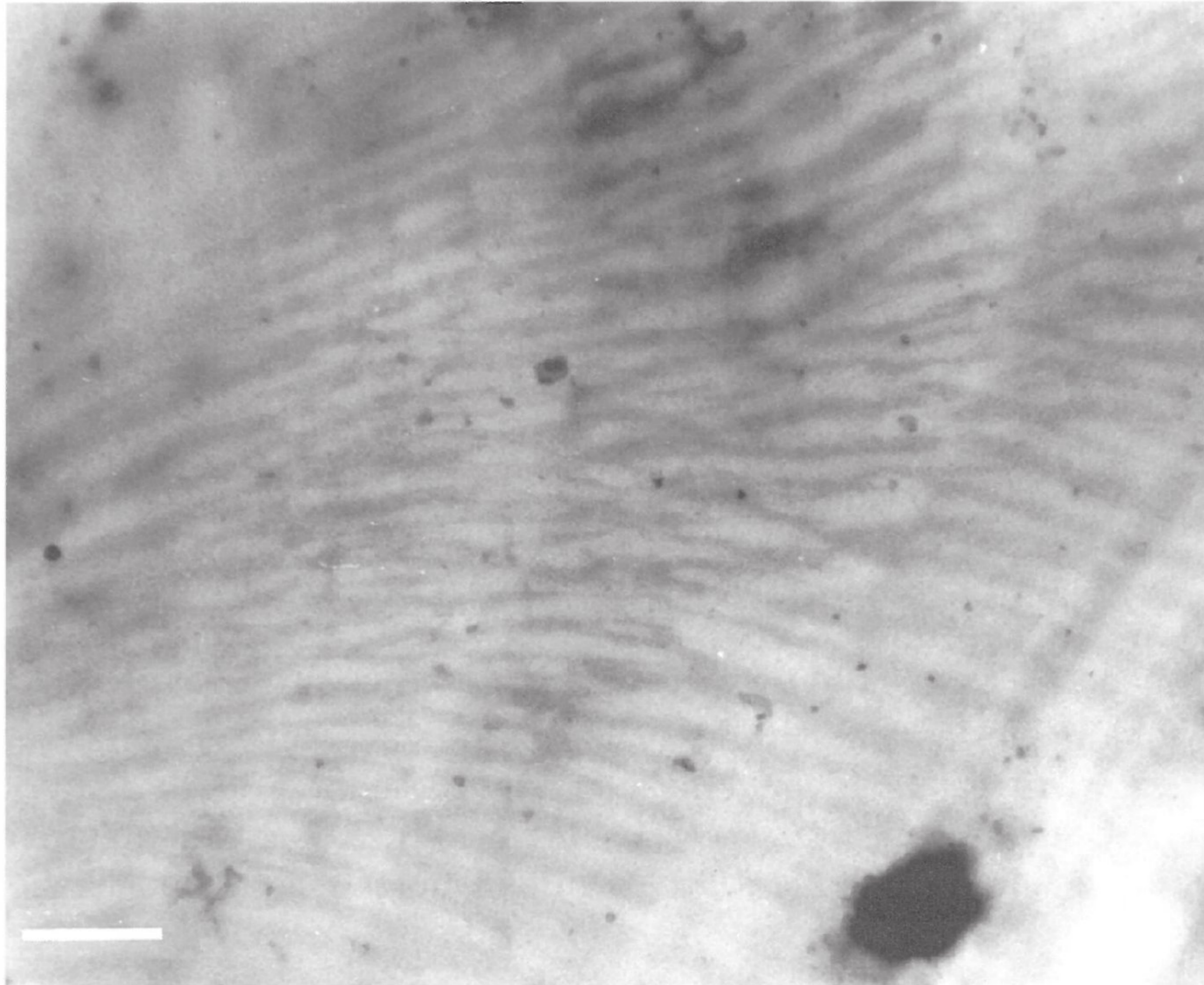


Abb. 1: Dünnschliff (dorsal-ventral) durch die Schale einer *Glycymeris angusticostata* aus dem Unteren Meeressand vom Kreuzberg mit erkennbaren Schalenfeinstrukturen (Länge des Maßstabes 100 μm).

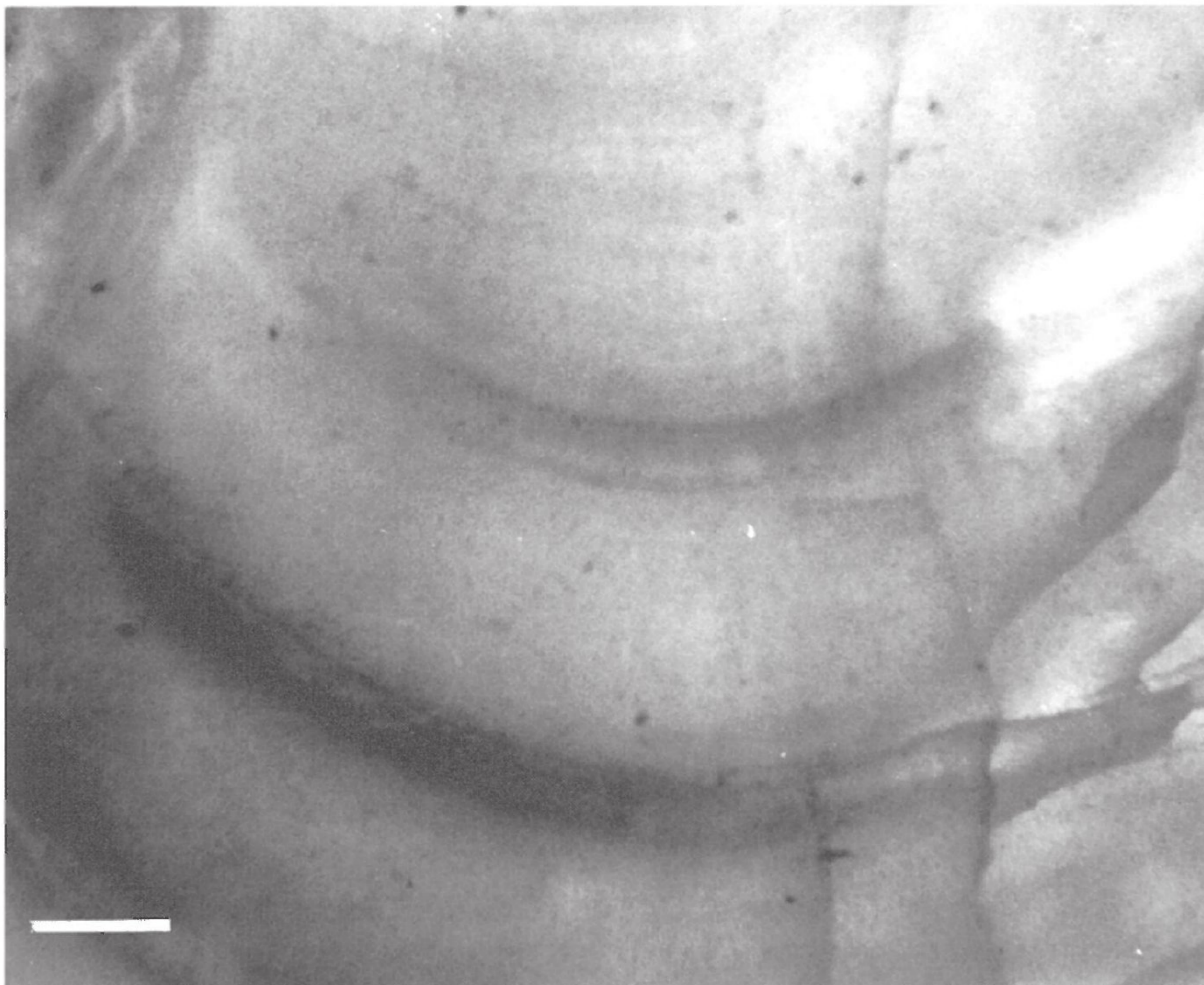


Abb. 2: Längsschnitt durch den mittleren Kardinalzahn einer *Pseudocyrena convexa* aus dem Cyrenenmergel von Klein-Winternheim mit deutlich erkennbaren regelmäßigen Sublagen aus Perlmutter (hellgrau) und irregulär prismatischem Kalzit infolge jahreszeitlicher Klimaschwankungen (Länge des Maßstabes 100 μm).

Oberflächenwassertemperaturdifferenzen bei ca. 17 °C (kältester Monat 1,1 °C, Jahresmittel 9,3 °C, WIELAND 1990).

Neben der Beobachtung von Jahreszyklen auf der Schalenaußenseite, belegen auch die nur in den Längsschnitten der Cyrenenmergelformen festgestellten, regelmäßigen Sublagen aus Perlmutter und irregulär prismatischem Kalzit das Auftreten von jahreszeitlichen Klimaschwankungen (Abb. 2).

Für das Mainzer Becken bedeutet dies, daß ein Anstieg der jahreszeitlichen Temperaturdifferenzen des Oberflächenwassers vom Rupelium zum Chattium vorlag. Wahrscheinlich sank gleichzeitig auch die Jahresdurchschnittstemperatur. Diese Ergebnisse unterstützen die Annahme einer spätoligozänen Abkühlung nach HOCHULI (1984) und anderen. Eine Abkühlung des Meerwassers etwa auf Nordseetemperaturen wird jedoch aufgrund des Fehlens von den bei höherem Temperaturstress häufigen „shock breaks“ nach KENNISH (1980) ausgeschlossen. Solche Mikrostrukturen konnten bisher an oligozänem Schalenmaterial aus dem Mainzer Becken nicht nachgewiesen werden.

Bei den durchlichtmikroskopischen Untersuchungen wurden bei zahlreichen Arten, trotz der offensichtlich schlechten Erhaltung, Anwachslinien gefunden. Das Auftreten solcher Anwachslinien im Querschnitt einer Schale ist von der Erhaltung der einzelnen Arten nicht so sehr abhängig, sondern eher abhängig von der Dicke der einzelnen Schalenschichten. So konnten bei den dickschaligen Glycymeriden, bei *Macrocallista splendida*, *Habecardium tenuisulcatum*, *Paralucinella conferta*, *Crassinella bronni*, *Cyclocardia omaliana*, *Pelecypora (Cordiopsis) polytropa* und *Pseudocyrena convexa* mehr oder weniger deutliche Anwachslinien festgestellt werden, die zumindest in Teilen der Schale erhalten sind. Bei den rupelischen Arten kann man dabei bereits bei geringen Vergrößerungen ein undeutlich rhythmisches Enger- und Weiterwerden der Anwachslinien feststellen. Bei stärkeren Vergrößerungen lassen sich Gruppen von 6 bis 7 enger gestaffelten, von solchen mit 7 bis 8 weiter gestaffelten Anwachslinien unterscheiden (Abb. 3). Zwei solcher unterschiedlichen Gruppen, die nicht immer ganz regelmäßig sind, bilden einen 14tägigen Gezeitenzyklus. Viele der Anwachslinien, die jeweils einen Sonnentag repräsentieren, werden durch je eine undeutliche Subtageslinie unterteilt, deren Vorhandensein möglicherweise auf das Auftreten von Halbtagestiden hinweist. Diese sind um so deutlicher, je weiter gestaffelt die Anwachslinien sind. Nur untergeordnet treten die 14tägigen Gezeitenzyklen auch auf der Außenseite von Bivalvenschalen auf. So fiel bei der Untersuchung einer *Paralucinella conferta* auf, daß die äußere Schalenlage im 14tägigen Rhythmus eine Dickenabnahme bei gleichzeitigem Flacherwerden der Anwachslinien zeigt (Abb. 4). Dabei entstehen makroskopisch erkennbare Anwachsstreifen. Zwar sind diese Anwachsstreifen artbestimmend und somit genetisch fixiert, ihre zeitliche Anlage wird jedoch durch übergeordnete Prozesse (tägliche = solare Anwachslinien und Gezeitenzyklen) gesteuert.

Das Auftreten von Gezeiten wird bereits von HARTKOPF & STAPF (1983) aufgrund von sedimentologischen Untersuchungen an den Meeressandprofilen am Steigerberg und in Wöllstein vermutet. Mit dem Auftreten von Gezeitenzyklen in Molluskenschalen vom Kreuzberg und vom Steigerberg wird das Auftreten von 14tägigen Gezeiten, möglicherweise mit Halbtagestiden, erstmals direkt für das Rupelium des Mainzer Beckens nachgewiesen. Während der Nachweis von Gezeiten mittels Anwachslinienmuster klar zu erbringen ist, läßt sich über die Höhe des Tidenhub nur wenig aussagen. Bei den rezenten Arten fällt auf, daß Gezeitenzyklen der Anwachslinien erst bei einem Tidenhub von über ca. 0,8 m auftreten. So zeigen die Arten der Adria (Tidenhub Martinsicuro 0,2 m, GRABLOVITZ 1909) keine, die Arten der Nordsee deutliche (Tidenhub St. Peter-Ording etwa 3,1 m, WIELAND 1990) und die aus der Bretagne sehr deutliche Gezeitenzyklen (Tidenhub

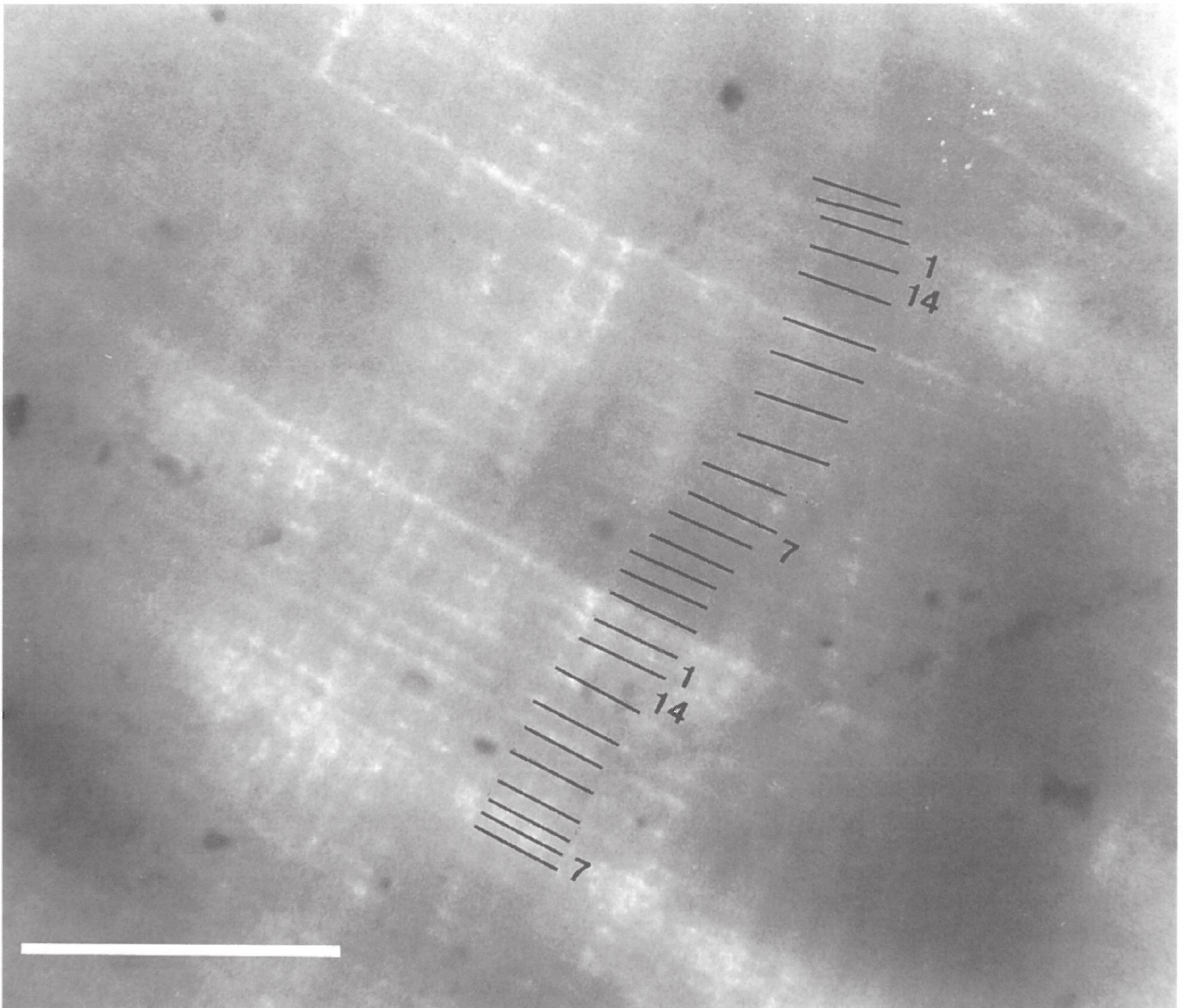


Abb. 3: Dünnschliff (dorsal-ventral) durch die Schale einer *Glycymeris planicostalis* aus dem Unteren Meeressand vom Steigerberg mit teilweise gestörten 14-Tageszyklen (Länge des Maßstabes 100 µm).

Bucht von Douarnenez 4,1 m, ATLAS GALLIMARD 1994). Aufgrund der Ausprägung der Gezeitenzyklen bei den Anwachslineien der untersuchten Muscheln muß man davon ausgehen, daß der Tidenhub im Rupelium des Mainzer Beckens deutlich geringer war als in der rezenten Nordsee.

Neben den Gezeitenzyklen konnten auf der Außenseite einer *Macrocallista splendida* vom Kreuzberg Mondmonatszyklen nachgewiesen werden (Abb. 5). Jeder dieser Zyklen endet mit einer Anwachslineie aus organischem Material und besteht aus je 29 Tageslineien.

Wie die Meeressandbivalven zeigen auch einige der untersuchten Cyrenenmergelformen regelmäßige Anwachslineienmuster. So konnten an einem Dünnschliff einer *Pelecycora (Cordiopsis) polytropa* vom Pfadberg bei Stackeden-Elsheim folgende Beobachtungen gemacht werden: Es gibt teilweise regelmäßige Anwachslineienmuster, die sich im Abstand von ca. 12 bis 14 Tagen wiederholen. Sie bestehen aus je 6 bis 7 relativ breiten Tageslineien mit je 2 relativ deutlichen Subtageslineien und 5 bis 6 dicht gedrängten Tageslineien mit undeutlichen Subtageslineien. Im Bereich der dichtgedrängten Tageslineien stehen die kalzitischen Linien so dicht, daß sie teilweise nicht mehr voneinander zu tren-

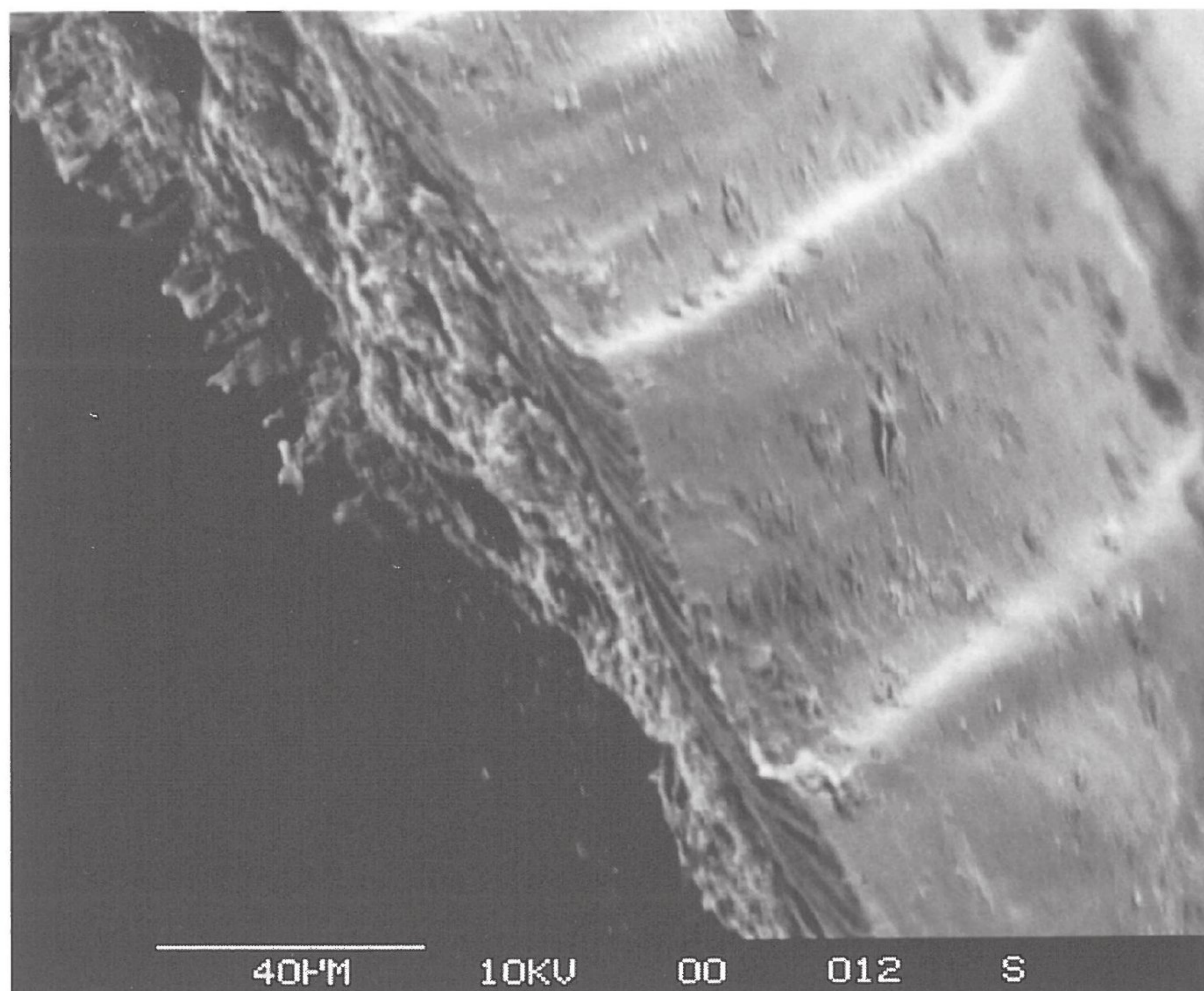


Abb. 4: Querbruch durch die Schale einer *Paralucinella conferta* aus dem Unteren Meeressand vom Kreuzberg. Die äußere Schalenlage zeigt im 14tägigen Rhythmus eine Dickenabnahme bei gleichzeitigem Flacherwerden der Anwachslineen. Dabei entstehen makroskopisch erkennbare Anwachsstreifen.

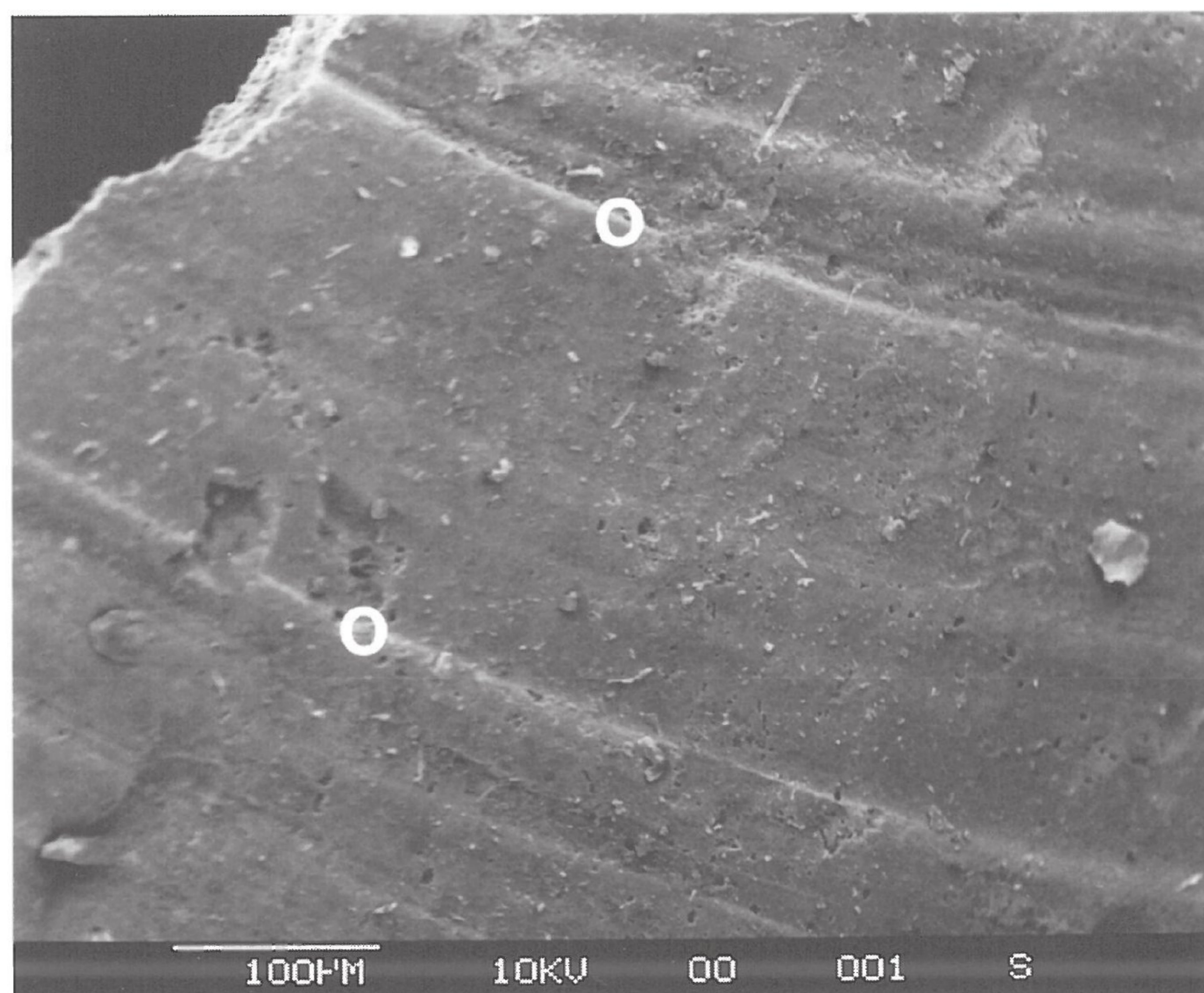


Abb. 5: Bruchstück einer *Macrocallista splendida* aus dem Unteren Meeressand vom Kreuzberg mit Lunarzyklen. Jeder Zyklus endet mit einer Anwachsline aus organischem Material (o).

nen sind, während im Bereich der weiter ständigen Tageslinien die dünnen rein kalzitischen Anwachslineien von breiteren Bereichen mit organischen Einlagerungen getrennt werden. Die kalzitische Liniendrängung führt auf der Außenseite der Schale zu einem kleinen Wulst. Dieser entsteht dadurch, daß die Schale vorzugsweise in den Bereichen organischer Anreicherungen angebohrt wurde. Die ca. 14tägigen Zyklen mit den organischen Einlagerungen entsprechen sehr gut Gezeitenrhythmen.

Die regelmäßigen Anwachslineienmuster werden überlagert von Bereichen mit verstärkten organischen Einlagerungen. Diese organischen „Bänder“ treten bei dem untersuchten etwa 4 Jahre alten Individuum von *Pelecycora (Cordiopsis) polytropa* insgesamt 4 mal auf. Die zeitlichen Abstände zwischen den organischen Bereichen entsprechen damit ziemlich gut einem jahreszeitlichen Zyklus. Die Breite der organischen „Bänder“ beträgt etwas über ein halbes Jahr. Sie korrespondieren mit Bereichen der mittleren Schalenlage, in der gröbere Wachstumsstrukturen gebildet wurden. Gewöhnlich sind solche Bereiche Anzeichen für warme Wassertemperaturen. Dies würde bedeuten, daß sie im Sommer gebildet wurden und daß im Sommer verstärkt organisches Material entstanden ist, also die Phasen der Anaerobiosis (LUTZ & RHOADS 1980) länger sind. Die Drängung der kalzitischen Tageslinien in den hellen Bereichen zwischen den „organischen Bändern“ bestätigen dieses Ergebnis. Möglicherweise gehen diese Erscheinungen mit einer sommerlichen Milieuschlechterung des Lebensraums der Bivalven einher. Denkbar wären z. B. sommerliche Salinitäts- und Sauerstoffschwankungen infolge geringerer Wasserdurchmischung (häufigeres Auftreten von Windstillen), wie dies auch in der Adria beobachtet werden kann. Dabei wachsen die Muscheln zwar rascher als im Winter, lagern aber verstärkt Conchiolin in ihrer Schale ein.

Zusammenfassung

Die untersuchten Muschelreste aus dem Oligozän des Mainzer Beckens zeigen makroskopische und mikroskopische Anwachslineienzyklen unterschiedlicher Genese.

Bei den rupelischen Formen (Unterer Meeressand) herrschen 14tägige Rhythmen vor, die auf Gezeiteneinwirkungen zurückgehen. Untergeordnet treten auch Mondmonats- und Subjahreszyklen auf. Deutliche jahreszeitliche Temperaturschwankungen können weitgehend ausgeschlossen werden.

Die untersuchten Muscheln aus dem Chattium (Cyrenenmergel) zeigen sowohl auf der Schalenoberfläche als auch im Dünnschliff jahreszeitliche Temperatur- und Milieuschwankungen. Untergeordnet treten undeutliche Gezeitenmuster auf. Im Gegensatz zu den rupelischen Formen werden die Tagesrhythmen von bis zu drei Subtageslinien unterteilt.

Die Untersuchungen belegen das Auftreten von Gezeiten im oligozänen Mainzer Becken und eine postrupelische Abkühlung.

Schriften

- ATLAS GALLIMARD (1994, ed.): Atlas des Côtes de la mer d'Iroise. 80 S., zahlreiche Abb. im Text, Paris.
- CARTER, J. G. (1980): Glossary of skeletal biomineralization. – In: CARTER, J. G. (ed.): Skeletal biomineralization: patterns, processes and evolutionary trends. Volume I. S. 609–627, 45 Abb., New York.
- DAINELLI, G. (1939): Atlante fisico economico d'Italia. 82 Taf., 508 Ktn, Milano.
- GRABLOWITZ, G. (1909): Materiali per la conoscenza del mediterraneo. II. Le attuali conoscenze sul fenomeno della marea nel Mediterraneo. – Mem. Geografiche, 9, S.189–275, 1 Tab., 2 Ktn, Firenze.

- HARTKOPF, C. & STAPF, K. R. G. (1983): Sedimentologie des Unteren Meeressandes (Rupelium, Tertiär) an Inselstränden im W-Teil des Mainzer Beckens (SW-Deutschland). – Mitt. Polichia, 71, S. 5–106, 53 Abb., 6 Tab., Bad Dürkheim.
- HOCHULI, P. A. (1984): Correlation of middle and late tertiary sporomorph assemblages. – Paléobiol. cont., XIV, 2, S. 310–314, 11 Abb., Montpellier.
- KENNISH, M. J. (1980): Shell microgrowth analysis – *Mercenaria mercenaria* as a type example for research in population dynamics. – In: RHOADS, D. C. & LUTZ, R. A. (eds.): Skeletal growth of aquatic organisms – biological records of environmental change. Chapter 7, S. 255–294, 10 Abb., 13 Tab., New York, London.
- LISON, L. (1949): Recherches sur la forme et la mécanique de développement des coquilles des lamellibranches. – Mém. Inst. Roy. Sci. Nat. Belgique, ser. 2, 34, S. 1–87, 30 Abb., Bruxelles.
- LUTZ, R. A. & RHOADS, D. C. (1980): Growth patterns within the molluscan shell. – In: RHOADS, D. C. & LUTZ, R. A. (eds.): Skeletal growth of aquatic organisms – biological records of environmental change. Chapter 6, S. 203–254, 19 Abb., New York, London.
- PANNELLA, G. (1975): Paleontological clocks and the history of the earth's rotation. – In: ROSENBERG, G. D. & RUNCORN, S. K. (eds.): Growth rhythms and the history of the earth's rotation. S. 253–284, 9 Abb. (Wiley & Sons), London, New York, Sydney.
- WELLS, J. W. (1963): Coral growth and geochronometry. – Nature, 197, S. 948, London.
- WIELAND, P. (1990): Küstenfibel. 152 S., 92 Abb., 10 Tab., Heide.

Anschrift der Autoren:

Diplom-Geologe MATTHIAS C. GRIMM, Dr. KIRSTEN I. GRIMM, Johannes Gutenberg-Universität, Institut für Geowissenschaften, Lehrinheit Paläontologie, D-55099 Mainz.

Manuskript eingegangen am 21. 10. 1996