# W+W Special Paper G-22-1

# WACHSTUM FOSSILER ORGANISMEN, ERDROTATION UND GEOCHRONOLOGIE: WAREN DIE TAGE VORZEITEN KÜRZER?

Michael Kotulla



März 2022

#### Titelbild:

Zwei Exemplare der Rudistenmuschel *Vaccinites*. Kreide, Omani Mountains, Vereinigte Arabische Emirate. Foto: Mark A. WILSON (Wilson44691; public domain;

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:RudistCretaceousUAE.jpg).

W+W Special Paper G-22-1

Herausgegeben von der Studiengemeinschaft Wort und Wissen e. V. Verfügbar online als PDF unter: http://www.wort-und-wissen.org/artikel

# Inhalt

1	Fragestellung1						
2	Einführung2						
2.1	Period	disches Wachstum hartteilbildender Organismen	2				
2.2	Erdrot	tation und Zeit	4				
2.3	Geoch	nronologie und geologische Zeitskala	5				
2.4	Fraglic	che Periodizitäten und spektrale Analyse	6				
3	Paläontologische Daten und ihre Interpretation: Wachstumsinkremente und Periodizitäten						
3.1	Koralle	en	7				
	3.1.1	WELLS (1963, 1966)	7				
	3.1.2	WELLS (1970)	9				
	3.1.3	Scrutton (1965, 1970)	10				
	3.1.4	Mazzullo (1971)	12				
	3.1.5	Johnson & Nudds (1975)	13				
3.2	Musch	heln, Teil I	14				
	3.2.1	Berry & Barker (1968)	14				
	3.2.2	Berry & Barker (1975)	. 15				
	3.2.3	PANNELLA et al. (1968)	. 17				
	3.2.4	Pannella (1972a)	. 20				
	3.2.5	Pannella (1975)	22				
3.3	Strom	atolithe	. 24				
	3.3.1	McGugan (1968)	24				
	3.3.2	Pannella (1972a, 1972b, 1975)	24				
3.4	Brachi	iopoden, Cephalopoden	26				
3.5	Review	W	. 26				
	3.5.1	SCRUTTON (1978)	26				
3.6	Musch	heln, Teil II	28				
	3.6.1	DE WINTER et al. (2020)	. 28				
	3.6.1	1.1 Jahreszyklus	30				
	3.6.1	1.2 Tageszyklus	32				

	3.6.1.3	Altersmodell	34			
	3.6.1.4	Anzahl Tage pro Jahr im Campanium (Oberkreide)	37			
	3.6.1.5	Länge des Tages im Campanium (Oberkreide)	41			
	3.6.1.6	Zielgerichtete Produktion des Ergebnisses?	42			
	3.6.1.7	Fazit	43			
4	Versuch eir Deduktione	ner Harmonisierung astronomischer und geophysikalischer Zeit- en mit "paläontologischen Chronometern"	45			
4.1	Ansinnen u	ind Methodik von WELLS (1963)	45			
4.2	"Kürzere Ta	age" als Tatsache	46			
4.3	Moderne V	Vissenschaftskommunikation	48			
4.4	Keine Verif Modells	izierung der geologischen Zeitskala, keine Verifizierung des astronomis	schen 49			
5	Zusammen	fassung	50			
Anha	ing: Diagram	nme und Tabellen zu Abschnitt 3.6.1	53			
Gloss	ar mit Verze	eichnis der Abkürzungen	73			
Tabe	llenverzeich	nis	75			
Abbil	ldungsverzei	ichnis	76			
Date	nnachweis		77			
Dank	Danksagung7					
Litera	Literatur7					
Impr	essum		82			



# 1 Fragestellung

"Die Erde drehte sich am Ende der Zeit der Dinosaurier schneller als heute: 372 Mal im Jahr verglichen mit derzeit 365 Mal – nach einer neuen Studie über fossile Weichtierschalen der späten Kreide. Dies bedeutet, dass ein Tag nur 23 und eine halbe Stunde dauerte (…)." So beginnt die Pressemitteilung der *American Geophysical Union* (AGU) vom 9. März 2020<sup>1</sup> zu einer Studie von DE WINTER et al. (2020) in der Fachzeitschrift *Paleoceanography and Paleoclimatology*.

Dass fossile Organismen als Geochronometer verwendet werden, geht zurück bis auf WELLS (1963). Er zählte an devonischen Korallen 400 Wachstumslinien pro Jahr ab. Weitere derartige Studien über Periodizitäten des Skelettwachstums, die neben Korallen hauptsächlich an Muscheln vorgenommen worden sind, zeigen im Verlauf der geologischen Zeit eine graduelle Abnahme der Anzahl der Tage pro Jahr bzw. eine graduelle Zunahme der Länge des Tages.

Dieser graduelle Verlauf stimmt weitgehend überein mit einer astronomischen Rückwärtsprojektion der ermittelten (historischen) Rate der Verlängerung des Tages von 2 Millisekunden pro 100 Jahre. Die Zunahme der Tageslänge wird als Effekt der Gezeitenreibung des Mondes betrachtet, die eine Abbremsung der Rotation der Erde bewirkt. Insofern gilt direkt oder indirekt, dass das paläontologische Datenmaterial einerseits die astronomische Theorie und andererseits die radiometrische Datierung verifiziert und validiert.

Es wird hier die Frage gestellt, ob und in welchem Umfang ein Zusammenhang zwischen dem Skelettwachstum fossiler Organismen, der Rotationsrate der Erde und der Eichung der chronostratigraphischen Tabelle mit radiometrischen Alterswerten besteht. Oder – mit anderen Worten – wird danach gefragt, ob die Tage vorzeiten wirklich kürzer waren.

1

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Übersetzung durch den Verfasser.

# 2 Einführung

# 2.1 Periodisches Wachstum hartteilbildender Organismen

Die Arbeiten zum periodischen Wachstum fossiler Organismen, die in Kapitel 3 vorgestellt und diskutiert werden, stammen hauptsächlich aus den 1960er- und 1970er-Jahren. Die untersuchten Organismengruppen umfassen unter den Wirbellosen Korallen, Muscheln, Brachiopoden und Cephalopoden und unter den Algen sogenannte Stromatolithe. Organismen dieser Gruppen bildeten Hartteile in einem marinen oder zumindest subaquatischen Lebensraum. Diese Hartteile besitzen Strukturen, z. B. einen schichtigen Aufbau oder an ihrer Außenseite Linien, Streifen oder Bänderungen, die als Abbild von Wachstumsperioden betrachtet werden. Hinsichtlich der Interpretation von Periodizitäten wird häufig auf rezente, heute lebende Organismen verwiesen.

Beobachtungen an lebendem Material zur Identifizierung von Periodizitäten sind zu dieser Zeit zum ersten Mal oder vermehrt durchgeführt worden. Eine erstmals von BARKER (1964) an Abschnitten von Muschelschalen aufgestellte Hierarchie von Wachstumsinkrementen umfasste fünf Ordnungen (Zyklen): untertägig (Gezeiten-gesteuert), täglich (Sonnenrhythmus), vierzehntägig (Gezeiten-gesteuert), halbjährlich (Beeinträchtigungen durch Äquinoktialgezeiten und Stürme), jährlich (Temperatur-gesteuert). Diese vorwiegend durch Ableitungen geschaffene Hierarchie bedurfte allerdings eines experimentellen Nachweises.

Eine solche experimentelle Arbeit<sup>2</sup> stammt von PANNELLA & MACCLINTOCK (1968), deren Versuche mit der Venusmuschel *Mercenaria mercenaria* in einem tidalen Environment eine Zeitspanne von 368 bzw. 723 Tage umfasste. Sie zählen in der ersten Gruppe (alle 3 Exemplare) zwischen 360 und 370 und in der zweiten Gruppe (einige aus 10 Exemplaren) zwischen 720 und 725 Tages-Wachstumsinkrementen. Demnach scheint es Tage zu geben, an welchen kein Inkrement oder zwei Inkremente gebildet wurden. Die Tagesinkremente bestehen aus einem Streifen-Couplet, welches sich in seiner einfachen Form durch unterschiedliche Farbe und Dicke auszeichnet (ihre Plate 2). Des Weiteren weist jedes Tagesinkrement etliche interne Lagen auf, die während einer 24-Stunden-Periode geöffnete oder geschlossene Phasen der Muschel wiedergeben. Abschnittsweise ist auch die Periode eines synodischen Monats erkennbar (für 4 aufeinander folgende Monate).

Auswertungen u. a. von Evans (1972, 1975) über Wachstumsmuster an *Clinocardium nut-talli* und *Penitella penita* veranlassen PANNELLA (1975) für *M. mercenaria* nun ein komplexeres Wachstumsmuster anzunehmen, ein "Zusammenspiel aus solaren, circadianen<sup>3</sup> und lunaren Rhythmen". PANNELLA (1976) fasst Gezeiten-gesteuerte Periodizitäten von Wachstumsmustern in Muscheln in seiner Table 1 zusammen (Tab. 1).

Es zeigt sich insgesamt, dass Wachstumsmuster vorliegen, diese aber komplex sein können. Eine taggenaue Identifizierung der Wachstumsaufzeichnung über mehrere Jahre hinweg ist nur mit Kenntnis der täglichen Bedingungen möglich; dies betrifft insbesondere auch mögliche

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Weitere Arbeiten sind: CLARK (1968, 1974, 1975); HOUSE & FARROW (1968); RHOADS & PANNELLA (1970); FARROW (1971, 1972); DOLMAN (1975); EVANS (1972, 1975); HALL (1975); THOMPSON (1975); WHYTE (1975).

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Ungefähr einen Tag lang.

Wachstumsunterbrechungen.

Zur Identifizierung von Wachstumsmustern bei Korallen liefert BARNES (1972) erstmals experimentell den Nachweis an *Manicina areolata* (Rosenkoralle), dass ein täglicher Skelettzuwachs "mit der vom Nahrungsverhalten gesteuerten im Tag-Nachtwechsel erfolgenden Kontraktion bzw. Expansion des Polypen zusammenhängt" (FLÜGEL 1977, 120); andere Reize allerdings haben auch Einfluss auf das Verhalten des Polypen. Zuvor hatte WELLS (1963) vorgeschlagen, dass diese Fein-Inkremente (Feinstreifen) einer strengen diurnalen<sup>4</sup> Kontrolle unterlägen.

KNUTSON et al. (1972) bzw. KNUTSON & BUDDEMEIER (1972) gelingt der Nachweis eines Jahresrhythmus an Korallen des Enewetak-Atolls. Demnach entsprechen Couplets jeweils bestehend aus einem dunklen und einem hellem Band (Unterschiede im Raumgewicht) einem Jahr, die anhand des Einbaus von <sup>90</sup>Sr infolge der Kernwaffen-Testreihen der Jahre 1948 bis 1958 datiert wurden. Mitunter eingeschaltete Feinbänder zwischen den Jahresbändern deutet BUDDE-MEIER (1974) als mögliche Monatsrhythmen.

Periodizität	Ursache	Bemerkung
Halbdiurnal 1/2 lunarer Tag = 12,42 h	Erdrotation in Bezug auf die antipodalen Ausbuchtun- gen, die durch die Schwerkraft von Sonne und Mond erzeugt werden	Sich widergespiegelnd in Mustern als ein Ablagerungsereignis (eine organische und eine anorganische Lage) jede 12,42 h [Ver- weis auf Fig. 3b]
<i>Diurnal</i> 1 Iunarer Tag = 24,84 h	Wenn die diurnale Ungleichheit (der Höhenunter- schied zwischen zwei aufeinanderfolgenden Hoch- o- der Niedrigwassern) so groß ist, dass eine halb-diur- nale Flut unterdrückt wird	Ein Ablagerungsereignis jede 24,84 h
<i>Wöchentlich</i> 1/2 halb-monatliche Un- gleichheit = 6-8 Tage	Im Zusammenhang mit deklinationaler Ungleichheit (wenn sich der Mond vom Himmelsäquator in die nördliche und südliche Hemisphäre bewegt). Wenn der Mond auf dem Äquator steht, ist die halbtägliche Reichweite der Gezeiten am größten	Diese und die vierzehntägigen Periodizitäten produzieren "vermischte Muster" von inter- mediärer Periodizität (13-15 diurnale Inkre- mente) [Verweis auf Fig. 3b]
<i>Vierzehntäglich</i> 1/2 eines synodischen Mo- nats = 14,77 Tage	Im Zusammenhang mit halbmonatlicher Ungleichheit (der tidale Effekt der Sonne auf das lunitidale Inter- vall), die von der Phase des Mondes abhängt und die Reichweite der Tiden kontrolliert	Sich widerspiegelnd in der Dicke der anor- ganischen Lagen. Springtiden-Inkremente sind grundsätzlich dicker als Nipptiden-In- kremente
Monatlich 1 anomalistischer Monat = 27,55 Tage (vgl. synodi- scher Monat = 29,53 Tage)	Die Tidenreichweite ist maximal nachdem der Mond im Perigäum ist und minimal bald nach dem Apogäum. Dieser Effekt wird parallaxe Ungleichheit genannt und ist zwei Tage kürzer als der synodische Monat	Sich widerspiegelnd in Tieren, die dort lebe, wo die parallaxe Ungleichheit groß ist (z. B. Ostüste von Nordamerika)
Halbjährlich 1/2 eines tropischen Jah- res	Die Deklination der Sonne verursacht eine deklinatio- nale Ungleichheit, die am kleinsten zur Sonnenwende und am größten zur Tagundnachtgleiche ist	Sich widerspiegelnd in "Frühjahrs-" Herbst- Wachstumsbändern" (Periosdizitäten von 160-200 diurnalen Inkrementen)

**Tab. 1** Gezeiten-gesteuerte Periodizitäten von Wachstumsmustern in Muscheln.

Nach PANNELLA (1976), seine Table 1. Diskussion s. Textteil. "Ablagerungsereignis" meint inkrementales Schalenwachstum.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Siehe Tab. 1.

Experimente zu den Wachstumsmustern bei Korallen, die mehrere Jahre umfassten, lagen zu diesem Zeitpunkt nicht vor. FLÜGEL (1977, 121) hält zusammenfassend fest, dass "das Skelettwachstum der Scleractinia diskontinuierlich-periodisch erfolgt". Und weiter (S. 125): "Da Größe und Art des Wachstums von Korallen von den Umweltbedingungen beeinflußt wird, wäre es naheliegend den Informationswert der das Wachstum abbildenden Zonen weniger in ihrer geochronometrischen als in ihrer palökologischen Aussage zu sehen."

Für Brachiopoden und Cephalopoden – die in Kapitel 3 angeführten fossilen Formen sind ausgestorben – liegen keine experimentellen Arbeiten vor, für Algen-Stromatolithe eine vorläufige, nicht aussagekräftige Studie (PANNELLA 1972b).

# 2.2 Erdrotation und Zeit

Die Drehbewegung der Erde um ihre eigene Achse wird als Erdrotation bezeichnet. Die Dauer einer Umdrehung beträgt je nach Betrachtungsweise aktuell 24,00 oder 23,93 Stunden (Tab. 2).

Zeitspanne		Dauer (gemittelt)	Einheit	Bezug (Epoche)
Sonnentag; Tag	solar day	24,00	Stunden	
Siderischer Tag	sideral day	23,93	Stunden	
Synodischer Monat (Lunation)	synodic month	29,53	Sonnentag	J2000.0
Siderischer Monat	sideral month	27,32	Sonnentag	J2000.0
Sonnenjahr (tropisches Jahr); Jahr	solar year	365,24	Sonnentag	J2000.0
Sonnenjahr (tropisches Jahr)		366,24	siderischer Tag	
Siderisches Jahr	sideral year	365,26	Sonnentag	J2000.0
Verhältnisse		<u>Anzahl</u>		
Synodische Monate pro siderischem Jahr		12,37		
Siderische Monate pro siderischem Jahr		13,37		

#### Tab. 2 Zeitspannen und ihre Dauer.

Zusammenstellung mit Werten aus WILLIAMS (2000, seine Table 1) sowie Ergänzungen des Verfassers.

Variation der Rotati- onsrate der Erde; Beschleunigung (Ø)	Methode	Referenz
-5,3 x 10 <sup>-22</sup> rad s <sup>-2</sup>	von historischen Daten abgeleitet: die letzten 270 Jahre	Munk & MacDonald (1960)
-5,48 x 10 <sup>-22</sup> rad s <sup>-2</sup>	Schätzung auf Basis astronomischer Daten	Lambeck (1980, 341)
-6,05 x 10 <sup>-22</sup> rad s <sup>-2</sup>	Schätzung auf Basis von Gezeitendaten	Lambeck (1980, 341)
-5,40 x 10 <sup>-22</sup> rad s <sup>-2</sup>	Schätzung auf Basis von Satelliten-Daten	Lambeck (1980, 341)
-4,7 x 10 <sup>-22</sup> rad s <sup>-2</sup>	von historischen Daten abgeleitet: 720 BC - AD 2015	Stephenson et al. (2016)
-6,2 x 10 <sup>-22</sup> rad s <sup>-2</sup>	Gezeitenwirkung; zu erwartender Wert	Stephenson et al. (2016)

Tab. 3 Variation der Rotationsrate der Erde.

Beachte: Werte sind negativ, es handelt sich also um eine Abbremsung.

Nach BROSCHE (1981) lässt sich die empirisch ermittelte Abbremsung der Erdrotation auf mannigfache Weise ausdrücken: als Zunahme der Tageslänge pro Jahrhundert, als Abnahme der Rotationsenergie der Erde oder als auf die Erde wirkendes Drehmoment. Daneben besteht als weitere Größe die Zunahme des lunaren Bahnradius (Distanz Erde – Mond). Die theoretisch und empirisch ermittelten Werte einiger dieser Größen werden in Tab. 3, Tab. 4 und Tab. 5 gelistet.

Variation der Länge des Tages; Zunahme (Ø)	Methode	Referenz
2,1 ms pro 100 a		Brosche (1981)
1,7 ms pro 100 a	von historischen Daten abgeleitet: etwa 700 BC - heute	Stephenson (2007)
2,3 ms pro 100 a	Gezeitenwirkung; zu erwartender Wert	Stephenson (2007)
1,8 ms pro 100 a	von historischen Daten abgeleitet: 720 BC - AD 2015	Stephenson et al. (2016)
2,3 ms pro 100 a	Gezeitenwirkung; zu erwartender Wert	Stephenson et al. (2016)

Tab. 4 Variation der Länge des Tages.

Variation des Abstan- des Erde - Mond; Zunahme (Ø)	Methode	Referenz
etwa 5 cm pro a		Lambeck (1980, 352)
3,82 cm pro a	Laserentfernungsmessung (LLR)	Dickey et al. (1994)
3,8 m pro 100 a		Stephenson 2007
38,3 mm pro a	Laserentfernungsmessung (LLR)	Williams & Boggs (2016)

#### Tab. 5 Variation des Abstandes Erde – Mond.

Beachte: Einheiten in der ersten Spalte sind nicht einheitlich; die Wiedergabe erfolgt den Publikationen entsprechend.

Mit den empirisch ermittelten Werten sind theoretische Rück- und Vorausrechnungen zur Veränderung des Erde-Mond-Systems unternommen worden, die einen Zeitskalenbereich umfassen, der bis zu 10<sup>9</sup>–10<sup>10</sup> Jahren reicht (z. B. BROSCHE 1981).

# 2.3 Geochronologie und geologische Zeitskala

Nach dem Internationalen Stratigraphischen Leitfaden beschäftigt sich die Geochronologie mit der "Datierung und Bestimmung der zeitlichen Abfolge von Ereignissen in der Geschichte der Erde" (SALVADOR 1994, 16).<sup>5</sup> Die Geologische Zeitskala 2020 (<u>G</u>eologic <u>T</u>ime <u>S</u>cale 2020, GTS2020) ist das Ergebnis der Verknüpfung der Internationalen Chronostratigraphischen Tabelle (Skala)<sup>6</sup> mit dem Altersmodell von GRADSTEIN et al. (2020) (vgl. Abb. 29). Das etablierte (radiometrische) Altersmodell für das Phanerozoikum in der Version von 2020 beruht auf

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Die "Geochronometrie" (s. Titel von WELLS 1963) ist ein Teilbereich der Geochronologie; sie befasst sich mit der quantitativen (numerischen) Messung der geologischen Zeit. Häufig werden Geochronologie und Geochronometrie synonym verwendet.

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Aktuelle Version v2022/02 (https://stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2022-02.pdf)

annähernd 400 ausgewählten, interpretierten Alterswerten von geologischen Objekten bekannter stratigraphischer Stellung. Insofern handelt es sich hier um "Radioisotopen-Geochronologie", eine andere Bezeichnung für radiometrische Datierung.

Mit "vorzeiten" ist die geologische Zeit gemeint, wie sie in der chronostratigraphischen Tabelle manifestiert ist. Die hier vorliegende Arbeit beschränkt sich stratigraphisch auf das Phanerozoikum, also dem Abschnitt Kambrium bis Quartär.

# 2.4 Fragliche Periodizitäten und spektrale Analyse

In Abschnitt 3.6.1 wird eine Studie vorgestellt und diskutiert, bei welcher die Methode der spektralen Analyse angewendet wurde. Bei den analysierten Datenkollektiven handelt es sich um Reihenmessungen von Spurenelementkonzentrationen und stabilen Isotopen einer Rudistenschale, die als Proxies aufgefasst werden, als "Stellvertreter"-Daten, die als indirekte Anzeiger des Paläoklimas interpretiert werden.

Mit der Spektralanalyse werden Wertereihen und/oder die in Zeitreihen überführten Wertereihen auf das Vorhandensein von Zyklen (Periodizitäten) untersucht und ggf. während der Überführung oder danach getunt.

Der spektralen Varianzanalyse liegt die Transformation<sup>7</sup> einer Werte- oder Zeitreihe (bzw. Zeitfunktion) in eine spektrale oder Wavelet-Darstellung<sup>8</sup> zugrunde. Hierzu gibt es zahlreiche Berechnungsmodelle und Techniken. Die resultierenden Varianzspektren (auch als Power-, Energie- oder Leistungsspektren bezeichnet) sind Schätzungen; die relative Varianz ist auf der Ordinate, die Frequenz auf der Abszisse dargestellt. Übliche Modelle/Darstellungen sind:

- Periodogramm;
- Lomb-Periodogramm (LOMB 1976; SCARGLE 1982, 1989);
- Multi-taper method (МТМ) (Тномзов 1982, 1990);
- Blackman-Tukey method (BTM) (BLACKMAN & TUKEY 1958, TUKEY 1967);
- Maximum entropy method (MEM);
- RedFit.

Die Spektren gilt es jeweils im Gesamtkontext der zugrundeliegenden Annahmen, des zu untersuchenden Abschnitts, der einzelnen Prozessschritte von der Datensammlung (Stichprobe) über die Datenaufbereitung/-veränderung, der Alters-zu-Tiefen-Transformation und eines ggf. durchgeführten Tunings und nicht zuletzt der spektralen Darstellung selbst zu interpretieren.<sup>9</sup>

Der Begriff Tuning (Einphasung<sup>10</sup>) wird von MULLER & MACDONALD (2000, 143) wie folgt erklärt: "Tuning ist der Prozess der Verfeinerung einer Zeitskala unter Ausnutzung bekannter

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> Im diesem Zusammenhang wird häufig die Abkürzung FFT verwendet, schnelle FOURIER-Transformation (engl. fast FOURIER transform).

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> Bei der Wavelet-Darstellung handelt es sich um eine kontinuierliche raum- bzw. zeitaufgelöste spektrale Darstellung, die die Veränderung der relativen Varianz (Ordinate) mit der Tiefe bzw. Zeit (Abszisse) zeigt.

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> Umfangreiche technisch-methodische Ausführungen finden sich u. a. bei MULLER & MACDONALD (2000), WEE-DON (2003), HAMMER (2012) und SCHÖNWIESE (2013).

<sup>&</sup>lt;sup>10</sup> In diesem Kontext auch mit Einpassung oder Einzeitung zu übersetzen.

Periodizitäten von Proxy-Signalen." Demnach bedarf es für den Einphasungs-Prozess einer bereits bestehenden Zeitskala.

Der Verfasser verwendet für die spektrale Analyse das Statistik-Paket PAST von Ø. HAMMER (2010, 2012).

# 3 Paläontologische Daten und ihre Interpretation: Wachstumsinkremente und Periodizitäten

# 3.1 Korallen

# 3.1.1 WELLS (1963, 1966)

WELLS<sup>11</sup> (1963) bringt in dem *Science*-Artikel *Korallenwachstum und Geochronometrie* in Vorschlag, dass die Paläontologie zum "Problem der Geochronometrie" vielleicht einen stabilisierenden Anhaltspunkt liefern kann.<sup>12</sup> Denn gegenwärtig (Stand damals) gäbe es keine Möglichkeit einer Bestätigung oder Zurückweisung absoluter, auf Radioaktivität basierender Altersbestimmungen durch unabhängige Methoden.

WELLS (1963) führt fossile Korallen an, die als "Geochronometer" verwendet werden können, durch Bestimmung der Anzahl der täglichen Wachstumsinkremente pro Jahr. An der Oberfläche der Korallenepithek parallel zum Kelchrand beobachtet er einerseits feine Kämme ("fine ridges"; auch "striae" oder "growth-lines") und andererseits größere Ringbildungen ("larger annulations"). Die feinen Kämme oder Wachstumslinien interpretiert er als tägliche, die größeren Ringbildungen als jährliche Wachstumsinkremente. Zählungen ergeben, dass mehr als 365 Wachstumslinien (tägliche Wachstumsinkremente) pro Jahr ausgebildet sind:

- Mitteldevonische Rugosa und Tabulata (New York, Ontario): meistens etwa 400 Wachstumslinien pro Jahr, zwischen Extremen von 385 und 410.
- Oberkarbonische Rugosa (West-Pennsylvania bzw. Texas): 390 bzw. 385 Wachstumslinien pro Jahr.

Diese Resultate implizieren, so WELLS (1963), "dass im Verlauf der Zeit die Anzahl der Tage seit dem Devon abgenommen haben – so wie es Astronomen postulierten – und daher die Isotopenalter der Geophysiker gut mit den astronomischen Schätzungen über das Alter der Erde übereinstimmen". Es sei aber nicht behauptet, dass das Korallenwachstum beweise, dass das eine oder andere (oder beides) richtig ist.<sup>13</sup>

<sup>&</sup>lt;sup>11</sup> John West Wells (1907–1994), s. BRICE (1996).

<sup>&</sup>lt;sup>12</sup> "It is not claimed that coral growth proves that either is right; but it is suggested that palaeontology may well be able to supply a third stabilizing, and much cheaper, clue to the problem of geochronometry, (...)" WELLS (1963, 950).

<sup>&</sup>lt;sup>13</sup> "These results imply that the number of days a year has decreased with the passage of time since the Devonian, as postulated by astronomers, and hence that values of the isotopic dates of the geophysicists agree well with the astronomical estimates of the age of the Earth" (WELLS 1963, 950). Fortsetzung des Zitats siehe Fußnote 12.

WELLS (1966) ist inhaltlich im Wesentlichen identisch<sup>14</sup> mit WELLS (1963), allerdings impliziert der Titel *Paläontologische Evidenz für die Geschwindigkeit der Erdrotation*, einen Nachweis erbracht zu haben.

#### Diskussion

Die Konzeption des Artikels ist bemerkenswert. WELLS (1963) präsentiert zunächst die zwei Hauptansätze zur Geochronometrie, die auf radioaktiven Isotopen und astronomischen Daten basieren und kombiniert diese in seiner Fig. 1 (vgl. Abb. 1): Beziehung zwischen "Tage pro Jahr" und "geologischer Zeit". Die radiometrischen Alterswerte (Känozoikum bis Kambrium) sind KULP (1961) entnommen, die Länge des Tages von 21 Stunden zu Beginn des Kambrium stammt von MUNK & MACDONALD (1960).<sup>15</sup> Diese Tageslänge ist durch eine theoretische Rückrechnung auf Basis eines aktuellen Gezeitenreibungseffektes ermittelt worden, der die Tageslänge – so WELLS (1963) – um 2 Sekunden pro 100.000 Jahre verkürzt. Sie entspricht – unter Beibehaltung der Umlaufbahn um die Sonne – 424 (siderischen) Tagen. Die siderischen Tage zwischen rezent und Kambrium hat WELLS (1963, Fig. 1; Abb. 1) interpoliert.



Abb. 1 Tage in jedem Jahr nach WELLS (1963).

Nach- bzw. Umzeichnung seiner Fig. 1 (S. 949) mit dem Titel "Relation between days in each year and geological time (radioactive age data from Kulp, 1961)". Beachte: die extrapolierte Zahl steht jeweils rechts neben dem Koordinatenpunkt.

<sup>&</sup>lt;sup>14</sup> WELLS (1966, 77) weist hinsichtlich möglicher monatlicher Wachstumsinkremente auf eine – zum Zeitpunkt seiner Manuskripteinreichung – laufende Studie von SCRUTTON hin (s. SCRUTTON 1965).

<sup>&</sup>lt;sup>15</sup> "At the present rate of tidal deceleration, 5,3 x 10<sup>-22</sup> rad sec<sup>-2</sup> (table 11.1) the l.o.d. [length of day, MK] would have been 21 hr at the beginning of the Paleozoic" (MUNK & MACDONALD 1960, 250).

WELLS (1963) stellt dann eine Verifizierung der geochronometrischen Hauptansätze in Aussicht. Wenn die Anzahl der Tage im Kambrium bestimmbar wäre (in der Größenordnung von 420), schiene dies das angedeutete Alter von 600.000.000 Millionen Jahren auf der Grundlage der Gezeitenreibung zu bestätigen und, da isotopische Methoden das gleiche Ergebnis lieferten, wären beide Ansätze in Übereinstimmung. Er liefert zwar keine Zahlen für das Kambrium, aber Zahlen für Mitteldevon und Oberkarbon. Danach stimmt die jeweilige, ermittelte Anzahl der Tage (s. o.) mit der jeweiligen, extrapolierten Anzahl der Tage (Abb. 1) überein: Mitteldevon: 400 zu 399 (Mittelwert aus 366 und 402); Oberkarbon (Pennsylvanium): 385–390 zu 385– 390.

Schließlich kann WELLS (1963) aber der gestellten Aussicht nicht gerecht werden und formuliert sich am Schluss recht vorsichtig (s. o.). Er liefert zwar einige Abbildungen von Korallen und ihren Wachstumsinkrementen, er kann aber nicht aufzeigen, dass seine Abgrenzungen von "jährlichen Wachstumsinkrementen" (prominente horizontale Runzeln, seine Fig. 2) tatsächlich auch Jahren entsprechen. So sind seine Daten und Ergebnisse, die konkret ausgewiesenen Tage pro Jahr – Devon 400 (385–410), Karbon 390 bzw. 385 –, eigentlich wertlos. Dennoch werden sie und insbesondere seine Idee von zahlreichen Wissenschaftlern aufgegriffen.

## 3.1.2 Wells (1970)

WELLS (1970) präsentiert nun "die Anzahl der Tage pro Jahr" für die stratigraphische Spanne vom Oberordovizium bis zum Pennsylvanium (Oberkarbon). Grundlage ist eine Abzählung von Wachstumsinkrementen an 17 Korallenindividuen, die als Tagesringe (feine Linien) und Jahresbänder interpretiert werden (vgl. WELLS 1963). Die Ergebnisse würden stark darauf hindeuten, dass die Anzahl der Tage [im Verlauf der geologischen Zeit] tatsächlich abgenommen hätte (Tab. 6).<sup>16</sup>

#### Diskussion

Im Vergleich zur Arbeit von 1963 erweitert WELLS (1970) die paläontologische Datenbasis um mehr Korallenindividuen und den stratigraphischen Untersuchungsabschnitt um weitere Einheiten. Quantitativ wird zwar die Anzahl der untersuchten Korallenindividuen konkretisiert, mehr aber auch nicht. Es werden keine Rohdaten publiziert bzw. zur Verfügung gestellt, sodass eine Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse nicht möglich ist. Insbesondere fehlen Informationen zur Abgrenzung bzw. Identifizierung des mutmaßlichen Jahres.

Erneut gilt es festzuhalten, dass auch diese Arbeit nicht genügt (s. Abschnitt 3.1.1). In diesem Sinne ist das Resultat – "ein starker Hinweis, dass die Anzahl der Tage abgenommen habe" – ohne Wert und deshalb auch nicht verwertbar. Nach 1970 publiziert WELLS zu diesem Thema nicht mehr.

<sup>&</sup>lt;sup>16</sup> "However, such results as have been obtained from Paleozoic corals are strongly suggestive that the number of days per year has indeed decreased: (...) The fit of these crude figures is shown on Fig. 5 wherein they are plotted against the curve of days per year versus time since the beginning of the year" (WELLS 1970, 8f).

Stratigraphisches Alter	Korallengattung (Fundregion)	Exem- plare [Anzahl]	Tagesringe/Jahr (circa)
Pennsylvanium	<i>Lophophyllidium</i> (Pennsylvania, Texas)	2	380, 390
Mississippium	Lithostrotion (Wales)	1	398
Mitteldevon	Heliophyllum, Eridophyllum, Cylindrophyllum, Favosites (New York, Ontario)	12	385-405 Ø 398
Mittelsilur	Ketophyllum (Gotland)	1	400
Oberordovizium	Streptelasma (Ohio)	1	412
Summe		17	

Tab. 6 Zählungen von Außenskelettinkrementen an Korallen.

Tabellarische Darstellung der von WELLS (1970, 9) ausgewiesenen Bestimmungen der Tagesringe pro Jahr an 17 Korallenindividuen.

## 3.1.3 SCRUTTON (1965, 1970)

SCRUTTON (1965) beobachtet auf der Epithek einiger mitteldevonischer, rugoser Korallen parallel zur Theka eine Abfolge von feinen Streifen oder Kämmen ("fine growth-ridges"), die durch markante Einschnürungen ("constrictions") segmentiert erscheint. Diese Feinstreifen ("ridges") interpretiert er als tägliche Wachstumsinkremente, die Abschnitte von Einschnürung zu Einschnürung (sog. Bänder), eine Gruppe von Feinstreifen, als monatliche Wachstumsinkremente. Letztere seien möglicherweise von einem monatlichen Reproduktionszyklus hervorgerufen.

Als Ergebnis einer Abzählung der Feinlamellen an 10 Korallenindividuen über insgesamt 112 Bänder präsentiert SCRUTTON (1965) einen Durchschnittswert von 30,59 Feinstreifen pro Band. Da keine übergeordnete Segmentierung vorliegt, die als jährliches Wachstumsinkrement gedeutet werden könnte, errechnet er mit den von WELLS (1963) ausgewiesenen "devonischen Tagen pro Jahr" (Mittelwert 399) die Anzahl der Bänder pro mitteldevonischem Jahr zu durchschnittlich 13,04 (Tab. 7).

SCRUTTON (1970) schlüsselt die Zählungen nach Abschnitte aufeinanderfolgender Bänder auf; die Datenbasis beider Publikationen ist quasi identisch (Unterschied von einem Band; Tab. 7).

#### Diskussion

Die Schlussfolgerung von SCRUTTON (1965) lautet, "(…) dass die Bänderung höchstwahrscheinlich mit einem monatlichen Reproduktionszyklus zusammenhängt und dass das mitteldevonische Jahr 13 Mondmonate zu je 30 ½ Tagen umfasste."<sup>17</sup> SCRUTTON weist keine Länge für das mitteldevonische Jahr aus; der offensichtliche Wert ist 396 (13 x 30,5). Im Laufe des Artikels

<sup>&</sup>lt;sup>17</sup> "It is concluded that the banding is most probably related to a lunnar breeding period and that the Middle Devonian year contained 13 lunar months each of 30 ½ days" (SCRUTTON 1965, 552).

wurde, sondern durch Verwendung von Werten von WELLS (1963, seine Table 1). <sup>18</sup>	

erfährt der Leser, dass die Anzahl der Mondmonate (hier 13) nicht unabhängig ermittelt

				Aufeinander-	Fe	instreife	Anzahl Bänder		
Publikation	Spezies [Anzahl]	Exem- plare [Anzahl]	Bänder [Anzahl]	änder folgende Bänder - Ab- nzahl] schnitte [Anzahl]		Mini- mum	Maxi- mum	Anmer- kung	pro Jahr (An- nahme 399-Tage- Jahr)
Scrutton (1965)	k. A.	10	112	k. A.	30,59	29,90	31,00	1	13,04
Scrutton (1970)	k. A.	10	113	16	30,66	29,00	31,50	2	k. A.

 Tab. 7
 Zählungen von Außenskelettinkrementen an mitteldevonischen Korallen.

SCRUTTON (1965, 1970) interpretiert die Bänder als monatliche Zuwächse, die Feinstreifen als tägliche Zuwächse. Die Datenbasis beider Publikationen ist quasi identisch; SCRUTTON (1970) schlüsselt die Zählungen nach Abschnitte aufeinanderfolgender Bänder auf. Anmerkung 1: Minimum-/Maximumwerte auf Basis der Durchschnittswerte pro Koralle. Anmerkung 2: Minimum-/Maximumwerte auf Basis der Durchschnittswerte pro Koralle. Anmerkung 2: Minimum-/Maximumwerte auf Basis der Durchschnittswerte pro Koralle, oder wenn ausgewiesen, pro Abschnitt aufeinanderfolgender Bänder. Die Minimum-/Maximumwerte auf Grundlage der Einzelzählungen sind 27 bzw. 35 Feinstreifen pro Band. Zusammenstellung mit Daten von SCRUTTON (1965, Table 1) und SCRUTTON (1970, Table 1).

SCRUTTON diskutiert seine Arbeiten in SCRUTTON & HIPKIN (1973). Danach hat er keine Ergebnisse produzieren können, die sowohl die Anzahl der Tage pro Jahr als auch die Anzahl der Tage pro synodalen Monat lieferten, um dadurch die Länge des Monats "absolut" zu bemessen.<sup>19</sup> Des Weiteren müssten, mit Verweis auf DICKE (1966), Organismen den Verlauf der Zeit mit einer Genauigkeit von einem Bruchteil eines Tages pro Jahr aufzeichnen, um einen überzeugenden Beitrag zur Verbesserung geophysikalischer Theorien machen zu können. Solch eine Präzision sei zum Studium von biologischen und Umweltrhythmen wahrscheinlich unwesentlich, und es sei sehr zweifelhaft, ob irgendwelche der veröffentlichen Daten diesen Standard erreichten.<sup>20</sup>

<sup>&</sup>lt;sup>18</sup> So auch LAMAR & MERIFIELD (1966): "In an attempt to verify Wells' [1963] determination of the number of days in the Devonian year, Scrutton [1964] found a grouping of growth lines on Middle Devonian corals which he related to lunar periods. He found an average of 30.59 growth lines grouped into bands and presumed that they represented the number of days in the Devonian synodic month. Scrutton and Runcorn [1964] used Wells' estimate (399) of the number of days in the Devonian year to calculate that there were 13 synodic months in the Devonian. Therefore, these analyses of Scrutton's data are dependent on Wells' growth-line counts." – Anmerkung: SCRUTTON (1965) wird teilweise, wie hier auch, mit SCRUTTON (1964) wiedergegeben.

<sup>&</sup>lt;sup>19</sup> SCRUTTON & HIPKIN (1973, 266): "It should be noted here that whereas the number of months or days per year measures the length of the month or day absolutely, the number of days per month compares the length of the variable month with the variable unit of the day and cannot therefore be interpreted in terms of absolute rotation rates without further hypothesis or data. Several other workers have since published growth increment counts based on a range of fossil groups. Only two of these sources, however, have produced data for both the number of days per year and days per lunar month and thereby measured the length of the month absolutely." – Die zwei Quellen, die SCRUTTON & HIPKIN (1973) nennen, sind: BERRY & BARKER (1968) und MAZZU-LLO (1971).

Nichtdestotrotz hält SCRUTTON (1998, 17) drei Jahrzehnte später daran fest, dass – mit Bezug auf seine und WELLS' Arbeiten – mit den Außenmerkmalen ein Beitrag zur Bestimmung der "Anzahl der Tage und Monate pro Jahr in der Vergangenheit" geleistet wurde: "However, external features (…) have contributed to the determination of the number of days in the year and month in the past (Wells 1964; Scrutton 1965, 1978)." – Anmerkung: Mit WELLS (1964) ist die Arbeit von WELLS (1963) gemeint.

Da eine Abhängigkeit zu WELLS' (1963) Ergebnissen vorliegt (s. Abschnitt 3.1.1), sind auch die Ergebnisse von SCRUTTON (1965, 1970) im Grunde genommen wertlos. Nach 1973 publiziert SCRUTTON – mit Ausnahme eines Reviews 1978 (s. Abschnitt 3.5.1) – zu diesem Thema nicht mehr.

# 3.1.4 MAZZULLO (1971)

MAZZULLO (1971) präsentiert neue Werte zur "Länge des Jahres während der silurischen und devonischen Periode" (s. sein Titel): 421 Tage für das Untersilur, 419 Tage für das Mittelsilur und 410 Tage für das Mitteldevon (s. Tab. 8). Die Zählungen beziehen sich auf rugose Korallen und Brachiopoden, wobei jeweils der Durchschnitt der Maxima ausgewiesen ist.

			Tage/Jahr				Tage/Monat			
Stratigraphisches Alter	Spezies [Anzahl]	Exem- plare [Anzahl]	Durch- schnitt	Mini- mum	Maxi- mum	Durch- schnitt Maxi- mum	Durch- schnitt	Mini- mum	Maxi- mum	Durch- schnitt Maxi- mum
Rugose Korallen										
Untersilur	1	1?	k. A.	k. A.	k. A.	421	k. A.	k. A.	k. A.	32,4
Mitteldevon	2	2?	k. A.	k. A.	k. A.	410	k. A.	k. A.	k. A.	31,5
Brachiopoden										
Mittelsilur	2	2?	k. A.	k. A.	k. A.	419	k. A.	k. A.	k. A.	32,25
Mitteldevon	2	4?	k. A.	k. A.	k. A.	410- 403	k. A.	k. A.	k. A.	31,5- 30,0

Tab. 8 Zählungen von Skelettinkrementen an Korallen und Brachiopoden.

Zusammenstellung nach MAZZULLO (1971), seine Table 1. MAZZULLO (1971) ergänzt, dass seiner Tabelle insgesamt Durchschnittsmaxima von 50 Exemplaren zugrunde liegen (von bisherigen und eigenen Studien). Die Anzahl der beobachteten monatlichen Markierungen bezogen auf alle Exemplare sei insgesamt 13.

# Diskussion

MAZZULLO (1971) zeigt auf ersten Anschein anhand von zwei unterschiedlichen Organismengruppen, dass – bezogen auf die Spanne Untersilur bis Mitteldevon – mit abnehmenden stratigraphischen Alter auch die Tage pro Jahr bzw. die Tage pro Monat abnehmen (Tab. 8). Allerdings werden keine Einzeldaten geliefert; insbesondere liegen wohl keine (mutmaßlich) jährlichen Musterungen ("markings") vor.<sup>21</sup> Bemerkenswert ist, dass MAZZULLOS Werte für die Länge des Tages im Mittedevon (410, 403–410) zu dem Maximalwert von WELLS (1963) passen (410).

MAZZULLO (1971) begründet den Ausweis von Durchschnitten der Maxima mit einem Vorschlag von CLARK (1968).<sup>22</sup> CLARK (1968, 800) hatte bei Wachstumsversuchen mit der Kammmuschel *Pecten diegensis* unter Laborbedingungen "fehlende Wachstumslinien" beobachtet, die die ganze Streuung der Daten hervorgerufen hätten. Demzufolge sei das Maximum und

<sup>&</sup>lt;sup>21</sup> MAZZULLO (1971) beginnt das Abstract mit: "Daily growth increments and monthly markings on Silurian and Devonian corals and brachiopods were counted using a maximum count method."

<sup>&</sup>lt;sup>22</sup> In MAZZULLO (1971) heißt es CLARKE anstelle CLARK.

nicht der Durchschnitt der "Linienzählung" am repräsentativsten.<sup>23</sup> Später folgert CLARK (1975), dass Experimente mit lebenden Organismen, die ursprünglich gedacht waren, Periodizitäten von Wachstumslinien zu bestätigen oder zu bestreiten, anstelle dessen eine intermediäre Situation gezeigt hätten.

Die ausgewiesenen Ergebnisse von MAZZULLO (1971) sind nicht nachvollziehbar und nicht überprüfbar; insbesondere werden die Schalenzuwächse und die Ausgliederung der Wachstumszonen bei den Brachiopoden nicht aufgezeigt. Die Ergebnisse sind so nicht verwertbar.

### 3.1.5 JOHNSON & NUDDS (1975)

JOHNSON & NUDDS (1975) leiten von Korallen der Viseum-Stufe ein unterkarbonisches Jahr mit 391,09 Tagen ab. Dieser Wert, so die Autoren, lasse sich gut vergleichen "mit der Schätzung von 393 Tagen, die auf geophysikalischen Methoden basiert"; mit Verweis auf WELLS (1963).

Demnach weisen die untersuchten Korallen an ihrer Außenseite Feinstreifen auf, feine horizontale Querrunzeln, die im Verlauf durch erscheinende Einschnürungen und/oder Kämme "zoniert" (gebändert) sind. JOHNSON & NUDDS (1975) interpretieren die Feinstreifen als tägliche und die Bänder als monatliche Wachstumsinkremente. Die Zählung erfolgte an zerbrochenen Individuen von *Lithostrotium martini* und beschränkte sich auf bis zu fünf aufeinanderfolgende "monatliche Bänder". Es wird schließlich ein Mittel von 30,2 Tagen pro synodischen Monat präsentiert. Eine übergeordnete Zonierung (Bänderung), die als "Jahresband" hätte interpretiert werden können, wurde nicht beobachtet.

#### Diskussion

JOHNSON & NUDDS (1975) teilen gewisse Daten nicht mit, z. B. die Anzahl der Messungen und die einzelnen Messergebnisse. Die 391,09 Tage für das unterkarbonisches Jahr errechnen sich wie folgt: 30,2 (Tage/synodischer Monat) x 12,95 (synodische Monate/unterkarbonisches Jahr) = 391,09 (Tage/unterkarbonisches Jahr).

Der Wert 12,95 ist ein interpolierter Wert aus dem von SCRUTTON (1970) präsentierten Wert von 13,01 für das devonische Jahr und von 12,53 für heute; unter der Voraussetzung einer konstanten Rate der Abnahme der Monate pro Jahr. Insofern handelt es sich hier nicht um eine unabhängige Berechnung bzw. Betrachtung (vgl. Abschnitte 3.1.1 und 3.1.3).

Des Weiteren handelt es sich bei der Interpretation der "monatlichen Bänder" um eine Zuweisung; dabei ist (und bleibt) unklar, ob zuerst das Band festgelegt wurde und dann eine

<sup>&</sup>lt;sup>23</sup> Später resümiert CLARK (1975, 103): "Experiments with living organisms, originally envisioned to confirm or deny the periodicity of growth lines, have instead shown an intermediate situation where periodicity exists but is preserved only under the best circumstances." Und er schreibt als Schluss (S. 116): "The real achievement of this research goes beyond these few facts to an awareness of the complexities involved in growth-line formation. Growth lines seem to be different things in different circumstances, and the reason for this must be understood before we can begin to use fossil growth lines to full advantage."

Zählung der Feinstreifen erfolgte oder ob zuerst eine Zählung der Feinstreifen erfolgte und aufgrund dieser Ergebnisse die Bändergrenzen festgelegt wurden.<sup>24,25</sup>

Der "Karbonische Korallen-Geochrometer" – der Titel der Autoren – ist unter diesen Umständen nicht verwertbar.

# 3.2 Muscheln, Teil I

## 3.2.1 BERRY & BARKER (1968)

BERRY & BARKER (1968) interpretieren Schaleninkremente von zwei kretazischen Muschelarten auf der Grundlage eigener Beobachtungen an lebenden Muscheln: "Major growth bands" als jährliche Inkremente, "fine growth laminae" als tägliche Inkremente und Cluster feiner Wachstumslaminen, die durch "ridges" (Erhöhungen) und "troughs" (Vertiefungen) begrenzt sind und die hauptsächlichen Wachstumsbänder unterteilen, als tidalgesteuerte [halbmonatliche] "14-Tage-Inkremente".

Die Autoren präsentieren zwei Zählergebnisse. Erstens anhand von Schalen von *Idonearca vulgaris* ein gewichtetes Mittel von 24,98  $\pm$  0,04 Erhöhungen pro Hauptband, interpretiert als 24,98 tidale "14-Tage-Perioden" ("fortnightly") bzw. 12,49 synodische Monate pro oberkretazischem Jahr. Zweitens anhand von acht Schalen von *Crassatella vadosus* ein gewichtetes Mittel von 29,65  $\pm$  0,18 Feinlaminen pro Erhöhung, interpretiert als 29,65 Tage pro [synodischen] Monat. Schließlich wird das Produkt aus Tage pro [synodischen] Monat und Anzahl der [synodischen] Monate pro Jahr gebildet und eine oberkretazische Jahreslänge von 370,3 Tagen (= 29,65 x 12,49) präsentiert. Sie folgern: "Die Ergebnisse dieser Studie unterstützen Wells' Vorschlag [mit Verweis auf WELLS 1963, MK], dass das Studium von Fossilien eine dritte Beweislinie zu geophysikalischen und astronomischen Schätzungen über das Alter und die Geschichte der Erde liefern könnte."<sup>26</sup>

<sup>&</sup>lt;sup>24</sup> Bei der Diskussion zum Referat (Konferenz vom 8.-10. Januar 1974) fragt HIPKIN: "Could you give a unique description of the counting unit, that is, could you recognize the monthly unit without first counting the approximate number of growth lines between apparent ridges?" JOHNSON antwortet: "Our corals displayed periodic constrictions, a constant distance apart with constant growth, and these periodic constrictions were clearly the monthly unit" (JOHNSON & NUDDS 1975, 42).

<sup>&</sup>lt;sup>25</sup> Auch FLÜGEL (1977, 125) geht auf diese Diskussion kurz ein (vgl. Fußnote 24): "Diese Schwierigkeit zeigt u.a. die Diskussion zum Referat von JOHNSON & NUDDS (1975). In ihr antwortete JOHNSON auf HIPKINS Frage, ob er die Monatseinheiten ohne Abzählung der Wachstumslinien erkannt habe, daß ihn die gleichbleibende Entfernung zwischen periodisch erscheinenden Einschnürungen bewog, diese als Monatsmarken anzusprechen, wobei die Zahl der Rugae zwischen diesen Bändern zwischen 28 und 31 (!) schwankt."

<sup>&</sup>lt;sup>26</sup> BERRY & BARKER (1968, 939): "Wells [1963, MK] suggested that there were approximately 400 days in the year in about Mid Devonian time, based on his studies of growth increments in tetracorals. The number of days in the year in the Middle Devonian derived from astronomical data, assuming the present rate of deceleration in the Earth's rotation has been maintained since the Cambrian, is consistent with the number of days obtained from the study of fossil material. The data from both Devonian tetracorals and Late Cretaceous bivalves thus appear to be consistent with those from astronomical evidence. The results of this study support Wells's [1963, MK] suggestion that the study of fossils may provide a third line of evidence to geophysical and astronomical estimates of the age and history of the Earth."

#### Diskussion

Die Analogieschlüsse, die BERRY & BARKER (1968) ziehen – rezent zu fossil –, sind nahe liegend. Dennoch bedarf es einer Validierung ihrer Interpretationen, da diese ja die Grundlage für ihre konkreten Kalkulationen bilden. Diese liefern sie nicht.

Über eine Kombination aus zwei vermeintlich unabhängigen Zählergebnissen die Jahreslänge zu ermitteln, ist einerseits bestechend, wirkt aber andererseits als zielgerichtet und konstruiert.<sup>27</sup> RUNCORN (1968) zufolge sind die Resultate von BERRY & BARKER (1968) nicht in solch einer engen Übereinstimmung wie sie annehmen.

Zu den Abgrenzungen (täglich, 14-täglich, monatlich, jährlich) und Zählungen werden keine Daten geliefert; demzufolge sind die Ergebnisse nicht nachvollzieh- oder nachrechenbar.

Insgesamt genügt auch diese Arbeit nicht. Die Daten und Ergebnisse sind für eine "dritte Beweislinie zu geophysikalischen und astronomischen Schätzungen über das Alter und die Geschichte der Erde" nicht verwertbar.

### 3.2.2 BERRY & BARKER (1975)

BERRY & BARKER (1975) präsentieren Zählungen von Schaleninkrementen von über 80 fossilen Muschelindividuen, die die stratigraphische Spanne vom Devon bis zum Pleistozän umfassen (ihre Table 1; Zusammenstellung s. Tab. 9). Die Zählungen fokussieren erneut auf ein Laminen-Cluster, welches dem [halbmonatigen] 14-Tage-Tidenhythmus zugeschrieben wird (vgl. BERRY & BARKER 1968). Die ermittelten Werte für die Wachstumsinkremente der Spanne Devon bis Pleistozän seien allerdings so unpräzise, dass jedwede Schlussfolgerungen zu Gezeiteneinflüssen in der Vergangenheit, die auf sie basieren, hochspekulativ seien.<sup>28</sup> Als Gründe werden genannt:

- Umweltfaktoren, die das Schalenwachstum (lebender Muscheln) beeinflussen: Wachstumsort (Maß der Tidenbeeinflussung), Stürme, Perioden der Exposition oder von Frost, kältere Wassertemperaturen im Winter, Wassertiefe, Substrat etc. Es können 0 oder 2 Wachstumslaminen pro Tag ausgebildet oder das Wachstum für unbestimmte Zeit unterbrochen sein.
- Aspekte der Erhaltung fossiler Schalen: Schwierigkeiten bei der Identifikation der Feinlaminen in Dünnschliffen (Rekristallisation; teilweise oder vollständige Zerstörung der Laminenstruktur durch Rekristallisation oder undeutliche Laminengrenzen).

BERRY & BARKER (1975) fassen zusammen: "Die präsentierten Daten seien dürftig und es fehle die Genauigkeit, die für geophysikalische Methoden erforderlich sei. Nichtsdestotrotz

<sup>&</sup>lt;sup>27</sup> Zu einer Kritik s. RUNCORN (1968).

<sup>&</sup>lt;sup>28</sup> BERRY & BARKER (1975, 17): "The preservational factors inherent in fossil bivalve shells as well as the variations in shell growth in response to various aspects of the environment observed in living animals need to be taken into account. The several environmental factors that influence shell growth and the preservational aspects of shells found as fossils indicate that the data obtained from counting shell growth increments in fossil bivalve shells are so imprecise that any conclusions concerning tidal influences in the past which are based on them are highly speculative."

könnten die Daten zumindest Hinweise auf bestimmte Veränderungen der Einflüsse der Gezeitenaktivität geben und mit anderen Beweislinien bei der Rekonstruktion bestimmter Aspekte der Erdgeschichte berücksichtigt werden."<sup>29</sup>

	Spe-	Exemp-	Cluster	Feine Wachs-		Laminen pro Cluster			
Stratigraphi- sches Alter	zies [An- zahl]	lare [Anzahl]	lare [An- tum [Anzahl] zahl] [A		Dur sch	ch- nitt	Mini- mum	Maxi- mum	
Pleistozän	3	19	115	1.695	14	4,74	14,25	15,00	
Pliozän	2	9	40	593	14	4,83	14,33	15,00	
Oligozän	2	10	49	725	14	4,80	14,67	15,00	
Eozän	1	3	14	208	14	4,86	14,60	15,00	
Paläozän	1	6	20	297	14	4,85	14,50	15,00	
Oberkreide	4	17	80	1.189	14	4,86	14,67	15,00	
Jura	1	4	12	179	14	4,92	14,67	15,25	
Trias	1	4	17	253	14	4,88	14,80	15,00	
Karbon	3	8	29	437	1:	5,07	14,67	15,50	
Devon	1	1	8	122	1:	5,25			
Summe	19	81		5.698					

 Tab. 9
 Zählungen von Schaleninkrementen von fossilen Muschelindividuen.

Zusammenstellung nach BERRY & BARKER (1975), ihre Table 1. Ein Cluster wird dem 14-Tage-Tiderhythmus zugeschrieben. Eine Lamine wird als tägliches Wachstumsinkrement interpretiert.

#### Diskussion

BERRY & BARKER (1975) liefern nun – sieben Jahre später – eine detaillierte Aufstellung über Zählungen von Wachstumsinkrementen fossiler Muscheln (ihre Table 1). Diese beschränkt sich allerdings auf Zählungen von Feinlaminen pro Cluster, d. h. "Bändern" mit mehreren Laminen, die als tidalgesteuert ("14-Tage-Rhythmus") interpretiert werden. Es werden keine Daten zur Anzahl synodischer Monate pro Jahr oder zur Anzahl der Tage pro Jahr geliefert.

Eine Zusammenstellung dieser Daten zeigt Tab. 9. Die Durchschnittswerte suggerieren insgesamt eine Reduzierung der Feinlaminen pro Cluster im Verlauf der geologischen Zeit (Abb. 2, gepunktete Linie). Die Daten seien aber – so BERRY & BARKER (1975) – relativ unpräzise und alle Schlussfolgerungen, die durch die in ihrem Diagramm (ihrer Figure 2) angegebenen Muster nahegelegt werden, seien nur Spekulationen. Schließlich ist noch anzumerken, dass der aktuelle Wert von 14,76 Tagen für den "14-Tage-Zyklus" von acht der zehn Spannweitenlinien (Abb. 2) erfasst wird, also sich diese Werte, so betrachtet, im Wesentlichen überlappen und nicht distinkt sind.

Table 1 von BERRY & BARKER (1975) zeigt auch, dass die Anzahl zusammenhängender ausgezählter Cluster i. d. R. unter 10 liegt; nur einmal werden je 10, 11 und 16 aufgeführt. Das heißt, dass nach ihrer Interpretation der Cluster – dem Vorliegen eines "14-Tage-Zyklus" – maximal 8 fortlaufende, synodische Monate ausgezählt wurden.

<sup>&</sup>lt;sup>29</sup> BERRY & BARKER (1975, 22): "The growth increment data from fossil bivalve shells bearing upon changes in the Earth's rotation are meagre and lack the precision needed for geophysical calculations. Nevertheless, the data may be at least suggestive of certain changes in the influences of tidal activity and may be considered with other lines of evidence in reconstructing certain aspects of the Earth's history."



Anzahl Feinlaminen pro Cluster

#### Abb. 2 Anzahl Feinlaminen pro Cluster.

Nach- bzw. Umzeichnung der Figure 2 (S. 21) von BERRY & BARKER (1975) mit den Daten der Tab. 9 und Ergänzungen des Verfassers. Für die zehn stratigraphische Punkte (Alter) sind die gezählten Minimum- und Maximumwerte abgetragen (vertikale Spannweitenlinien); die gepunktete Linie verbindet die jeweiligen Durchschnittswerte und zeigt insgesamt eine Reduzierung der Feinlaminen pro Cluster im Verlauf der geologischen Zeit (Alter) an. Für das Devon (hier Zählwert bei 360 Millionen [radiometrischen] Jahren) liegt nur eine Zählung vor; die Zählungen an triassischen Muscheln (insgesamt vier; hier Werte bei 225 Millionen [radiometrischen] Jahren) erachten die Autoren für fraglich. BERRY & BARKER (1975) schreiben zu Ihrer Figure 2: "The available data plotted in Figure 2 are thus relatively imprecise and may be biased away from reflecting true tidal activity. Any conclusions suggested by patterns indicated in that plot are only speculations." Die orangerote Linie schließlich zeigt den aktuellen Wert von 14,76 Tagen (synodischer Monat von 29,53 Tagen/2); dieser Wert wird von acht der zehn Spannweitenlinien erfasst. Diskussion s. Textteil.

Insgesamt – auch wenn ihre Zusammenfassung (s. o.) betrachtet wird – liegt hier wohl mit Bezug auf BERRY & BARKER (1968)<sup>30</sup> ein geordneter Rückzug vor. Die Daten bzw. die interpretierten Daten taugen lediglich zu Spekulationen.

#### 3.2.3 PANNELLA et al. (1968)

PANNELLA et al. (1968) legen Abzählungen von feinen Bänderungen ("bandings") und Wachstumsmustern ("growth patterns") an 23 Muscheln sowie einem Cephalopoden und einem Stromatolithen vor. Die "bandings" werden als Wachstumsinkremente eines Tages und die "growth patterns" als Wachstumsinkremente eines synodischen Monats interpretiert. Mit Bezug auf die Muscheln leiten sie diese Periodizitäten von der rezenten Spezies *Mercenaria mercenaria* ab.

Die Proben umfassen die stratigraphische Spanne vom Oberkambrium bis zur Gegenwart (rezent); insgesamt werden über 20.000 Tagesinkremente und über 700 Monatsinkremente

<sup>&</sup>lt;sup>30</sup> Laut Semantic Scholar wurde der Nature-Artikel bis dato 70 Mal in Fachpublikationen zitiert.

ausgewiesen (ihre Table 1, Tab. 10). Bei *Mercenaria mercenaria* (rezent) beträgt der Durchschnittswert für die Anzahl der Tagesinkremente pro Monat 29,17; das ist 1,2 % geringer als der Ist-Wert des synodischen Monats von 29,53 Tagen. Eine diesbezügliche Korrektur für fossile Exemplare wird nicht vorgenommen. Die Differenz – also das vereinzelte Ausbleiben der Bildung eines Tagesinkrements – wird mit dem Einfluss von Umweltfaktoren erklärt.

	Spezies Exemp-		Monatsin- Tagesin-		Tagesinkremente/Monat					
Stratigraphisches Alter	[An- zahl]	lare [Anzahl]	kremente [Anzahl]	kremente [Anzahl]	Durch- schnitt	±1σ	Ø-1σ	Ø+1σ	Standard- fehler	
Rezent	1	6	144	4.200	29,17	1,06	28,11	30,23	0,09	
Obermiozän	1	1	65	1.911	29,40	0,97	28,43	30,37	0,12	
Obereozän	1	1	38	1.126	29,63	0,97	28,66	30,60	0,16	
Mitteleozän	1	1	50	1.498	29,96	0,88	29,08	30,84	0,12	
Oberkreide	4	5	99	2.962	29,92	1,00	28,92	30,92	0,10	
Mitteltrias	2	3	44	1.306	29,68	1,20	28,48	30,88	0,18	
Oberpennsylvanium	1	3	110	3.306	30,05	k. A. (	nicht erm	nittelt)	k. A.	
Unterpennsylvanium	Cepha	alopode	9	272	30,22	1,20	29,02	31,42	0,08	
Untermississippium	1	2	138	4.191	30,37	1,28	29,09	31,65	0,11	
Mitteldevon	1	1	30	916	30,53	1,25	29,28	31,78	0,23	
Oberkambrium	Stron	natolith	18	568	31,56	3,15	28,41	34,71	0,74	
Summe Bivalven	13	23	718	21.416	29,83					

 Tab. 10
 Zählungen von Skelettinkrementen, Oberkambrium bis rezent.

Zusammenstellung mit Werten aus PANNELLA et al. (1968), Table 1. Die Abzählungen beziehen sich hauptsächlich auf Muschelschalen, für das Unterpennsylvanium auf einen Cephalopoden und für das Oberkambrium auf einen Stromatolithen.



Länge des Monats nach PANNELLA et al. (1968) I

Abb. 3 Länge des Monats nach PANNELLA et al. (1968) I.

Nach- bzw. Umzeichnung ihrer Fig. 2 (S. 795) mit dem Titel "Variationen in der Länge des synodischen Monats über die geologische Zeit"; mit Ausweis des Standardfehlers für jeden Punkt und einer polynomischen Trendlinie 4. Grades (hier Excel). Werte s. Tab. 10; die Werte für Mittel- und Obereozän sind hier nicht zu Eozän und die Werte für Unter- und Oberpennsylvanium zu Pennsylvanium zusammengefasst worden. Diskussion s. Textteil.

PANNELLA et al. (1968) präsentieren als Ergebnis eine diskontinuierliche Abnahme der Länge des synodischen Monats über die geologische Zeit. Demzufolge habe die Erdrotation nicht mit einer konstanten Rate abgenommen. Die konstruierte Trendkurve (ihre Fig. 2, Abb. 3) zeige eine Dreiteilung: Vom Oberkambrium bis zum Pennsylvanium und von der Oberkreide bis zur Gegenwart eine gegenüber der Vorhersage höhere Steigung, und vom Pennsylvanium bis zur Oberkreide eine gegenüber der Vorhersage niedrigere, quasi vernachlässigbare Steigung.

#### Diskussion

PANNELLA et al. (1968) liefern eine vergleichsweise größere Datenbasis. Dennoch ist diese bezogen auf das gesamte Phanerozoikum sehr lückenhaft und mit vielen Unsicherheiten behaftet. Sie schreiben (S. 792): "Schlechte Konservierung, Mehrdeutigkeit der Wachstumsmuster und das Fehlen von modernen Vertretern machen die Zählungen der Wachstumsinkremente sehr subjektiv."

Dem ersten Anschein nach zeigen die Mittelwerte der ausgewiesenen Tagesinkremente pro Monat eine (generelle) Abnahme mit dem stratigraphischen bzw. radiometrischen Alter. Allerdings sind die Einzelergebnisse (10 Wertepaare) unter Berücksichtigung der Standardabweichung (1 $\sigma$ -Unsicherheit) nicht unterscheidbar. Die Einzelergebnisse überlappen, nicht nur die benachbarten, sondern alle (Abb. 4). Kein Einzelergebnis liegt unter Berücksichtigung der Standardabweichung außerhalb 29,53 Tage, dem aktuellen Wert des synodischen Monats (Abb. 4, rote Linie). Die von PANNELLA et al. (1968) publizierten Werte können unter methodischen Aspekten auch so interpretiert werden: Die Länge des synodischen Monats hat vom Oberkambrium bis zur Gegenwart nicht abgenommen.



#### Länge des Monats nach PANNELLA et al. (1968) II

Abb. 4 Länge des Monats nach PANNELLA et al. (1968) II.

Alternative Darstellung der Werte von ihrer Fig. 2. Hier Ausweis der Standardabweichung (außer für den Wert des Oberpennsylvanium, da kein Standardfehler ausgewiesen ist). Rote Linie: synodaler Monat mit aktuellem Wert von 29,53 Tagen. Werte s. Tab. 10; die Werte für Mittel- und Obereozän sind hier nicht zu Eozän und die Werte für Unter- und Oberpennsylvanium zu Pennsylvanium zusammengefasst worden. Diskussion s. Textteil.

Alter (Millionen [radiometrische] Jahre vor heute)

## 3.2.4 PANNELLA (1972a)

PANNELLA (1972a) legt eine im Vergleich zu PANNELLA et al. (1968) nochmals erweiterte Datenbasis vor. Sie umfasst – nach seiner Interpretation der Periodizitäten – für die Gruppe der Muscheln Abzählungen von über 1000 Monatsinkrementen (über 30.000 Tagesinkremente) und einigen Jahresinkrementen (seine Table I, Ordovizium bis rezent; Tab. 11 und Tab. 12) sowie für die Gruppe der Stromatolithen Abzählungen von über 300 Monatsinkrementen (seine Table II; Neoarchaikum bis Phanerozoikum; s. Abschnitt 3.3).

	Spezies	Exemp-	Monatsin- Tagesin		Tagesinkremente/Monat					
Stratigraphisches Alter	[An- zahl]	lare [Anzahl]	kremente [Anzahl]	kremente [Anzahl]	Durch- schnitt	±1σ	Ø-1σ	Ø+1σ	Standard- fehler	
Rezent	2	7	186	k. A.	29,22	1,15	28,07	30,37	0,08	
Obermiozän	3	3	140	k. A.	29,52	1,00	28,52	30,52	0,08	
Mittelmiozän	1	1	26	k. A.	29,43	1,08	28,35	30,51	0,22	
Untermiozän	1	1	31	k. A.	29,22	0,99	28,23	30,21	0,17	
Unteroligozän	1	1	38	k. A.	29,63	0,97	28,66	30,60	0,16	
Mitteleozän	1	1	12	k. A.	29,91	0,90	29,01	30,81	0,26	
Untereozän I	1	1	66	k. A.	29,41	1,03	28,38	30,44	0,11	
Untereozän II	1	1	25	k. A.	29,60	1,55	28,05	31,15	0,31	
Paläozän	1	1	50	k. A.	29,96	0,88	29,08	30,84	0,12	
Oberkreide	4	7	159	k. A.	29,85	1,24	28,61	31,09	0,10	
Mitteltrias	2	3	77	k. A.	29,66	1,25	28,41	30,91	0,15	
Oberpennsylvanium	1	3	50	k. A.	30,16	0,68	29,48	30,84	0,09	
Unterpennsylvanium	Cepha	alopode	9	k. A.	30,22	1,20	29,02	31,42	0,40	
Untermississippium	1	2	138	k. A.	30,37	1,28	29,09	31,65	0,11	
Mitteldevon	1	1	30	k. A.	30,53	1,25	29,28	31,78	0,23	
Obersilur	Nau	tiloide	38	k. A.	29,84	1,40	28,44	31,24	0,23	
Ordovizium	Ko	ralle	46	k. A.	30,70	1,60	29,10	32,30	0,23	
Summe Muscheln	21	33	1028	ca. 30.583	29,75					

#### Tab. 11 Abzählungen von Skelettinkrementen, Ordovizium bis rezent.

Zusammenstellung mit Werten aus PANNELLA (1972a), seine Table I. Die Abzählungen beziehen sich hauptsächlich auf Muschelschalen, für das Unterpennsylvanium auf einen Cephalopoden, für das Obersilur auf einen Nautiloiden und für das Ordovizium auf eine Koralle. Die (ungefähre) Summe der Tagesinkremente ist vom Verfasser ermittelt worden (Summe Monatsinkrement x Durchschnitt).

Die verfügbaren Daten, so PANNELLA (1972a), würden "einen konsistenten Trend einer abnehmenden Anzahl von Tagen des synodischen Monats und des Jahres anzeigen", nicht nur für das Phanerozoikum, sondern zurück bis zum Neoarchaikum.<sup>31</sup> Erneut argumentiert PAN-NELLA (1972a), dass die Erdrotation nicht mit einer konstanten Rate abgenommen habe (seine Fig. 3, Abb. 5).

<sup>&</sup>lt;sup>31</sup> "The available data indicate a consistent trend of decreasing number of days in the synodic month and the year since 2800 m.y. ago" (PANNELLA 1972a, 234).

Stratigraphisches Alter	Spezies [An- zahl]	Exemp- lare [Anzahl]	Jahresin- kremente [Anzahl]	Tagesin- kremente/Jahr (Durchschnitt) [Anzahl]
Rezent	2	8	32	359,3
Oberkreide	4	4	16	375,0
Mitteltrias	2	3	7	371,6
Oberpennsylvanium	1	3	11	383,0
Untermississippium	1	2	9	398,0
Mitteldevon	1	1	6	405,5
Summe Muscheln	11	21	81	

Tab. 12 Abzählungen von Jahresinkrementen an Muscheln, Devon bis rezent.

Zusammenstellung mit Werten aus PANNELLA (1972a), Table I. Die Zählungen beziehen sich ausschließlich auf Muschelschalen; Standardabweichung und Standardfehler sind von PANNELLA (1972a) nicht angegeben.



## Länge des Monats nach PANNELLA (1972) I

#### Abb. 5 Länge des Monats nach PANNELLA (1972a) I.

Nach- bzw. Umzeichnung von Fig. 3 in PANNELLA (1972a) mit dem Titel "Variationen in der Länge des synodischen Monats seit dem Ordovizium"; auch hier mit Ausweis des Standardfehlers für jeden Punkt und einer polynomischen Trendlinie 4. Grades (hier Excel). Werte s. Tab. 11; Zusammenfassungen für Miozän, Eozän und Pennsylvanium (wie in Fig. 3 ausgewiesen) sind vom Verfasser nicht vorgenommen worden. Grüne Linie: Theoretische Rückrechnung des aktuellen Gezeitenreibungseffektes, der die Tageslänge (extrapoliert) um 2 Millisekunden pro 100 Jahre verkürzt (Übernahme der Wertepaare für Anfang und Ende aus Fig. 3). Es gilt anzumerken, dass die Wertepaare für Silur und Ordovizium der Table I (420/29,84 bzw. 470/30,70) nicht mit denen der Fig. 3 (ausgelesen: 420/30,5 bzw. 470/31,2) von PANNELLA (1972a) übereinstimmen. Insofern weicht die hier abgebildete Trendlinie für diesen Skalenbereich von der Kurve in Fig. 3 ab. Diskussion s. Textteil.

#### Diskussion

Mit der größeren Datenbasis "bestätigt" PANNELLA (1972a) im Wesentlichen die Ergebnisse von PANNELLA et al. (1968). Wie zuvor sind allerdings die Einzelergebnisse (hier: 17 Wertepaare) für die interpretierte Anzahl der Tage pro synodischen Monat unter Berücksichtigung der Standardabweichung (1 $\sigma$ -Unsicherheit) nicht unterscheidbar. Die Einzelergebnisse überlappen alle (Abb. 6). Kein Einzelergebnis liegt unter Berücksichtigung der Standardabweichung außerhalb 29,53 Tage, dem aktuellen Wert des synodischen Monats (Abb. 6, rote Linie).

PANNELLA (1972a) berichtet nicht, wie er Monats- oder Jahresinkremente an fossilen Muscheln identifiziert und abgegrenzt hat. Es scheint, als hätte er Jahresinkremente nicht abgezählt, sondern berechnet;<sup>32,33</sup> an keiner Stelle seines Artikel findet ein Abzählen ausdrücklich eine Erwähnung.



#### Länge des Monats nach PANNELLA (1972) II

#### Abb. 6 Länge des Monats nach PANNELLA (1972a) II.

Alternative Darstellung der Werte von Fig. 3 in PANNELLA (1972a): Hier Ausweis der Standardabweichung sowie Wert des synodischen Monats mit aktuellem Wert von 29,53 Tagen. Werte s. Tab. 11; Zusammenfassungen für Miozän, Eozän und Pennsylvanium (wie in Fig. 3 ausgewiesen) sind vom Verfasser nicht vorgenommen worden. Diskussion s. Textteil.

# 3.2.5 PANNELLA (1975)

Zu Bedeutung und Validität der ausgewiesenen Daten in PANNELLA et al. (1968) und PANNELLA (1972a) teilt PANNELLA einige seiner Überlegungen in dem Artikel *Paläontologische Uhren und die Geschichte der Erdrotation* (1975, in Übersetzung) mit. Zusammengefasst lauten diese:

- Eine nochmalige Überprüfung des gesamten Materials ist in Bearbeitung. Diese umfasst die Anwendung strikter Diskriminierungstechniken, die Trennung (Entmischung) der

<sup>&</sup>lt;sup>32</sup> PANNELLA (1972a, 226): "The tendency to deposit periodically shell ornamentations and structures such as concentric ribs, spines, and appendages, is common to many other molluscs (Berry 1962; Pannella and Mac-Clintock 1968; Thompson, 1971). This is important because it allows, once the periodicity of ornamentations has been discovered and proved, the calculation of the year and the synodic month, even when the daily increments are not preserved continously." – Anmerkung: BERRY (1963) wird teilweise, wie hier auch, mit BERRY (1962) wiedergegeben.

<sup>&</sup>lt;sup>33</sup> PANNELLA (1972a, 226): "New counts of the Upper Cretaceous have been added to the published ones and some figures on the length of the year are also provided." – Mit Bezug auf die "Länge des Jahres" werden nicht "counts" (Zählungen), sondern "figures" (Zahlen) berichtet.

Fossilien nach "solaren Mustern" und "lunaren Mustern", die Messung der Abstände zwischen Wachstumslinien sowie die Kompensation des Effekts des längeren lunaren Tages gegenüber dem siderischen Tag in den Wechselzonen.

- Das mehrdeutige Material und mehrdeutige Sequenzen werden ausgeschlossen, sodass nur klare und störfreie Sequenzen analysiert werden.
- Die Messungen werden dann durch einen Computer auf harmonische Analyse und Kohärenz analysiert (nach DOLMAN 1974, Beispiel s. DOLMAN 1975).
- Die strikte Selektion hat zu einer weiteren Reduzierung des fossilen Materials geführt; es bedarf einer Zuführung neuen Materials, um ausreichend große statistische Stichproben für jede geologische Periode zu gewinnen.
- Zur Genauigkeit der Daten: Eine nochmalige Überprüfung des gesamten Materials ist in Bearbeitung. Diese umfasst die Anwendung strikter Diskriminierungstechniken.

Mit Bezug auf die Alter der Fossilien:

- Känozoische Daten zur Länge des synodischen Monats scheinen die zuverlässigsten zu sein, da sie von gutem Material stammten.
- Oberkretazisches Zahlenmaterial muss durch zusätzliche Daten unterstützt werden; lange Sequenzen sind rar.
- Zu älterem (vor-oberkretazischen) Zahlenmaterial müssen die Resultate der Neuuntersuchung des Altmaterials abgewartet werden.

Schließlich verteidigt PANNELLA (1975) insgesamt seine Ergebnisse (vgl. PANNELLA et al. 1968 und PANNELLA 1972a; Abschnitte oben). Auf Grundlage der paläontologischen Daten würden folgende zwei Schlussfolgerungen unvermeidlich scheinen: 1) Die Daten würden, wenn auch ungenau, einen konsistenten Trend der Geschwindigkeitsabnahme der Erdrotation zeigen. 2) Die Rate der Geschwindigkeitsabnahme variiere und könne nicht in die geologische Zeit zurück extrapoliert werden. Da die känozoischen Daten zuverlässig seien, sei nicht zu erwarten, dass die zukünftigen oberkretazischen Daten das Zahlenmaterial, also seine bisherigen Ergebnisse, viel verändern würden.

#### Diskussion

Es hat den Eindruck, als würde PANNELLA (1975) auf zahlreiche Kritiken antworten. Er benennt zahlreiche Schwachpunkte und Schwierigkeiten, aber ein zentrales Problem spricht er nicht an: das Problem der Nachvollzieh- und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse durch Dritte.

Ergebnisse zu der von PANNELLA (1975)<sup>34</sup> angekündigten bzw. durchgeführten Nachprüfung, die insbesondere den Bereich "Materialien und Methoden" betreffen sollte, sind bis 1978 nicht publiziert worden (SCRUTTON 1978, 178), auch nicht danach. Demzufolge sind die von PANNELLA et al. (1968) und PANNELLA (1972a) ausgewiesenen Daten zu dem fossilen Material,

<sup>&</sup>lt;sup>34</sup> Die Publikationstätigkeit von Giorgio PANNELLA (Geburtsjahr 1934?) endet abrupt 1976. Ein kurze Recherche des Verfassers zur Biographie des Geologen erbrachte keine Ergebnisse. Seine letzten Veröffentlichungen entstanden als Mitarbeiter der Geologischen Abteilung der Universität von Puerto Rico (davor Yale University, New Haven, Connecticut, U. S. A.).

das hauptsächlich Muscheln umfasst, als nicht sicher zu bewerten und deshalb nicht verwertbar.

# 3.3 Stromatolithe

# 3.3.1 McGugan (1968)

McGugan (1968) vermeldet feine, regelmäßige Wachstumsinkremente von ausgewählten Algen-Stromatolithen aus dem Oberkambrium der kanadischen Rocky Mountains. Er interpretiert die Aufeinanderfolge der Inkremente rhythmisch und liefert zwei optionale zeitliche Zuordnungen:

- Dritte (gröbste) Ordnung: Sie besteht aus 400–420 Inkrementen der ersten, feinsten Ordnung und 9–12 "erkennbaren" Gruppen der zweiten Ordnung; sie repräsentiert a) 1 Jahr oder b) den Sonnenfleckenzyklus.
- Zweite Ordnung (dichte Gruppe von Laminae): Sie repräsentiert a) 1 Monat oder b) 1 Jahr.
- Erste Ordnung: Sie besteht aus alternierenden Feinlagen (Laminae) von organischem Kohlenstoff und Kalzit/Dolomit; sie repräsentiert a) 1 Tag oder b) eine unterjährige, saisonale Variation.

Solches Material könne sich, so McGugan (1968), für die Geochronologie als nützlich erweisen.

# Diskussion

Es handelt sich um ein kurzes Abstract (eines mündlichen Vortrags?), das lediglich 14 Zeilen umfasst. Es enthält keine weiteren Daten; insbesondere bleibt offen, wie die Gruppen bzw. Ordnungen gebildet bzw. abgegrenzt wurden. Möglicherweise hat McGugan (1968) bei seinem Vortrag mehr Informationen geliefert, die aber in der Folge nicht publiziert worden sind.<sup>35</sup>

# 3.3.2 PANNELLA (1972a, 1972b, 1975)

PANNELLA (1972b, 1975) unterscheidet bei Stromatolithen fünf Ordnungen von Wachstumsinkrementen, denen er Periodizitäten zuweist (zu I. bis III. Ordnung s. Fig. 5 in PANNELLA 1975):

<sup>&</sup>lt;sup>35</sup> PANNELLA (1972b, 218) schreibt, dass McGugaN (1968) auf der Basis einer vorläufigen Studie über Stromatolithen eine Zahl von 424 Tagen für die Länge eines mittelkambrischen Jahres publiziert hätte: "On the basis of preliminary studies of stromatolites McGugan (1967) had published a figure of 424 days for the length of the Middle Cambrian year. This figure was obtained from the counts of one sequence." Dies allerdings kann dem Abstract von McGugaN (1968) – von PANNELLA (1972b) als McGugaN (1967) ausgewiesen – nicht entnommen werden.

- I. (Basis-) Ordnung: Laminenpaar aus klastischer und organikreicher Feinlage, 1–500 μm dick; Inkrement eines Tages.
- II. Ordnung: Bänder von zwei Gruppen von Laminen(paaren) unterschiedlicher Dicke, Dicke 0,1–3 mm; Inkrement eines ½ synodischen Monats (vierzehntägig, tidale Steuerung).
- III. Ordnung: Folge von zwei Bändern II. Ordnung, Dicke 0,2–5 mm; Inkrement eines synodischen Monats.
- IV. Ordnung: Folge von mehreren Bändern II. Ordnung gruppiert in Zonen gleicher Textur und Zusammensetzung (aufgrund der farblichen Unterschiede sind die Zonen visuell erkennbar), Dicke 0,5–25 mm; Inkrement eines ½ tropischen Jahres (saisonal).
- V. Ordnung: Einheit von zwei Bändern IV. Ordnung, das eine organikreich und dunkel, das andere organikarm und hell, Dicke 0,5–45 mm; Inkrement eines Jahres.

Tab. 13 führt die von PANNELLA (1972a) publizierten Abzählungen an phanerozoischen Stromatolithen auf. Stromatolithen würden im Allgemeinen ein sehr diskontinuierliches Wachstum zeigen und könnten – "in der optimistischsten der Hypothesen" – nur Minimum-Werte liefern (PANNELLA 1975, 272). Aus diesem Grunde könnten nur die höchsten (Abzähl-) Werte von unterschiedlichen gleichzeitigen Stromatolithen als am meisten repräsentativ und nah an den tatsächlichen Werten betrachtet werden.

	Spezies	Exemp-	Monatsin-	Tagesin-	Tagesinkremente/synodischer Monat					
Alter	[An- zahl]	lare [Anzahl]	kremente [Anzahl]	kremente/ Jahr	Durch- schnitt	±1σ	Ø-1σ	Ø+1σ	Standard- fehler ±	
Rezent <sup>a)</sup>	1	1	67	43	6,58	5,49	1,09	12,07	0,60	
Rezent <sup>b)</sup>	1	3	30	k. A.	12,05	5,37	6,68	17,42	0,80	
Eozän	1?	3	33	k. A.	14,73	4,49	10,24	19,22	0,78	
Jura, Callovium-Stufe	1?	1?	17	k. A.	23,06	4,10	18,96	27,16	0,99	
Jura, Bathonium-Stufe	1?	1?	5	k. A.	22,80	4,09	18,71	26,89	1,83	
Oberkambrium	1	1	18	156	31,56	3,15	28,41	34,71	0,74	
Summe Stromatolithe	6?	10?	170							

Tab. 13 Abzählungen von Inkrementen an Stromatolithen, Kambrium bis rezent.

Zusammenstellung mit Werten aus PANNELLA (1972a), Table II; hier nur für das Phanerozoikum und ohne Ausweis der höchsten Abzählwerte. PANNELLA (1972a) interpretiert Laminen (I. Ordnung) als Tagesinkremente und Gruppen von Laminen (III. Ordnung) als Monatsinkremente (s. Textteil). a) supratidale Algenmatten, b) "Algen-Biscuit".

# Diskussion

Nach PANNELLA (1972a, 1975) sind die nach-kambrischen Stromatolithen als "paläontologische Uhren" ungeeignet. Aufgrund der mutmaßlichen Wachstumsunterbrechungen sind die ermittelten Tage pro Monat (Ø 6,58 bis 22,80) sowie Tage pro Jahr (einziger Wert 43) viel zu niedrig (Tab. 13). Eine weitere Diskussion erübrigt sich daher. Der oberkambrische Wert wird in Abschnitt 3.2.3 behandelt.

## 3.4 Brachiopoden, Cephalopoden

PANNELLA et al. (1968), MAZZULLO (1971) und PANNELLA (1972a) führen vereinzelt an Brachiopoden und Cephalopoden vorgenommene Abzählungen von Skelettinkrementen an.

MAZZULLO (1971) präsentiert Werte von Brachiopoden zur Länge des Jahres: 419 Tage für das Mittelsilur und 403–410 Tage für das Mitteldevon (s. Tab. 8). PANNELLA (1972a) weist Werte von zwei Cephalopoden zur Länge des Monats aus: Ø 29,84 Tage für das Obersilur und Ø 30,22 für das Unterpennsylvanium (s. Tab. 11).<sup>36</sup>

#### Diskussion

MAZZULLO (1971) beschreibt nicht, wie er Wachstumsinkremente nach täglich, monatlich und jährlich abgrenzt. Es werden keine Abbildungen und keine Rohdaten geliefert.

Zu dem oberkarbonischen Cephalopoden mit "Wachstumsmustern" aus dem Kendrick Shale (Kentucky, U. S. A.) liegt in PANNELLA & MACCLINTOCK (1968, Plate 9) eine ganzseitige Fotografie vor, die einen etwa 12 mm großen Ausschnitt der Oberfläche zeigt. Eine hinzugefügte Linierung in Verbindung mit einer Darstellung des Profils der Oberflächentopographie zeige ihren Vorschlag an, wie die Wachstumsinkremente gruppiert und gezählt werden können. Da die Überlieferung des Wachstums nicht kontinuierlich sei (dunkle Linien würden Wachstumsunterbrechungen anzeigen), könnten die Zählergebnisse nur verwendet werden, um solche für Muscheln zu unterstützen. Für das in Plate 9 abgebildete Exemplar mit der Probennummer 26323 weisen PANNELLA et al. (1968) und PANNELLA (1972a) – trotz der Wachstumsunterbrechungen (unbekannter Dauer) – 30,22 Tage pro Monat aus. Während die Linierung wohl das tägliche Wachstumsinkrement anzeigen soll (> 200 Linien), ist eine Markierung für das monatliche Wachstumsinkrement ausgespart worden. Es kann also nicht nachvollzogen werden, wie der Wert von 30,22 Tage pro Monat zu Stande kommt.

Insgesamt ist eine Nachvollzieh- und Reproduzierbarkeit nicht gegeben; in diesem Sinne sind die Ergebnisse nicht verwertbar.

## 3.5 Review

#### 3.5.1 SCRUTTON (1978)

In seinem umfangreichen, 43-seitigen Review *Periodische Wachstumsmerkmale fossiler Organismen und die Länge des Tages und des Monats* (in Übersetzung) behandelt SCRUTTON (1978)

<sup>&</sup>lt;sup>36</sup> Die zwei silurischen Nautiloiden von Nova Scotia weisen, so PANNELLA (1972a, 229), an der äußeren Oberfläche feine Wachstumslinien auf, die Kämmen und Einschnürungen aufliegen. Die Wachstumslinien hätten ein monatliche Periodizität. Eine komplette jährliche Abfolge sei aber nicht vorhanden. In seiner Table I führt PAN-NELLA (1972a, 223) für das Silur allerdings nur ein Exemplar mit der Probennummer 28505 auf; für dieses werden 38 abgezählte Monate angegeben.

hauptsächlich die Publikationen, die vom Verfasser in den Abschnitten 3.1 bis 3.4 diskutiert werden.<sup>37</sup>

SCRUTTON (1978) stellt u. a. fest: "Obwohl inzwischen bekannt ist, dass die Inkrement-Aufzeichnungen komplexer sind als bisher angenommen, haben alle Autoren explizit oder implizit berücksichtigt oder beabsichtigt, dass ihre Daten den Sonnentag und den synodischen Mondmonat widerspiegeln. Keine der veröffentlichten Daten sind jedoch vollständig zufriedenstellend. Derzeit sollten alle verfügbare Zahlen eher als Näherungswerte denn als genaue Größen für die mathematische Analyse betrachtet werden."<sup>38</sup>

Dennoch: Die verfügbaren Daten erlaubten einige allgemeine Schlussfolgerungen über die vergangene Geschichte der Rotationsrate der Erde und das Erde-Mond-System; u. a. (S. 191):

- "Es hat im Phanerozoikum und möglicherweise davor eine graduelle Abnahme in der Anzahl der Tage pro Jahr gegeben. Dies impliziert eine graduelle und gleichzeitige Verlängerung des Tages." Graphische Darstellung: seine Fig. 8 (S. 184).
- "Es hat im Phanerozoikum und möglicherweise davor eine graduelle Abnahme in der Anzahl der Tage pro Mondmonat gegeben. Die Anzahl der Mondmonate pro Jahr ist anscheinend ziemlich konstant geblieben." Graphische Darstellung: seine Fig. 9 (S. 185).
- "Die Abnahme der Rotationsrate der Erde im Verlauf der geologischen Zeit [– angezeigt durch paläontologische Daten –]<sup>39</sup> unterstützt allgemein die Hypothese der Gezeitenreibung des Mondes."
- "Die Abbremsrate der Rotationsachse der Erde angezeigt durch paläontologische Daten stimmt seit dem Ordovizium weitgehend überein mit einer Rückwärtsprojektion der Erdbeschleunigung als ein unabhängiger Parameter, der von Eklipse-Daten über die historische Periode berechnet wurde." Graphische Darstellung: seine Fig. 8 (S. 184), mit Ausweis einer Linie, die die Verlängerung des Tages mit einer Rate von 2 ms/100 a (mit Verweis auf MULLER & STEPHENSON 1975) repräsentiert und die im Wesentlichen parallel zur Steigung der Werte "Tage pro Jahr" verläuft.

# Diskussion

SCRUTTON (1978) hat die "Qualität der Daten" aller relevanten Publikationen nach eigener Aussage einer "sorgfältigen kritischen Bewertung" unterzogen (S. 154). Die hauptsächlichen Probleme erwähnt er allerdings nicht: Dass keine Rohdaten und kein Bildmaterial zur Verfügung

<sup>&</sup>lt;sup>37</sup> Bezogen auf seine Tabellen 1–4: Table 1 (Korallen): Wells (1963, 1970), SCRUTTON (1965, 1970), MAZZULLO (1971), JOHNSON & NUDDS (1975), PANNELLA (1972a). Table 2 (Muscheln): PANNELLA & MACCLINTOCK (1968), PANNELLA et al. (1968), PANNELLA (1972a), BERRY & BARKER (1968, 1975). Table 3 (Brachiopoden, Cephalopoden): PANNELLA & MACCLINTOCK (1968), PANNELLA et al. (1968), PANNELLA (1972a), MAZZULLO (1971). Table 4 (Stromato-lithen): MCGUGAN (1968), PANNELLA et al. (1968), PANNELLA (1972a, 1972b), MOHR (1975).

<sup>&</sup>lt;sup>38</sup> "Although the increment records are now known to be more complex than previously thought, all authors explicitly or implicitly have considered or intentioned their data to reflect the solar day and synodical lunar month. None of the published data are, however, wholly satisfactory. At the present time, all the available figures should be treated as approximations rather than as precise quantities for mathematical analysis" (SCRUTTON 1978, 182).

<sup>&</sup>lt;sup>39</sup> Die Ergänzung findet sich auf S. 183 von SCRUTTON (1978).

gestellt werden inklusive einer Markierung aller Abgrenzungen (täglich, 14-täglich, monatlich, jährlich), dass folglich die Ergebnisse nicht reproduzier- und überprüfbar sind.

# 3.6 Muscheln, Teil II

# 3.6.1 DE WINTER et al. (2020)

## Übersicht

DE WINTER et al. (2020) präsentieren eine Studie über die chemische Variabilität einer Rudistenschale von *Torreites sanchezi* (Campanium, Oberkreide). Danach werden hochauflösende Spurenelement-Aufzeichnungen im Mikrometer-Bereich mit Isotopen-Aufzeichnungen im Submillimeter-Bereich kombiniert, um tägliche und saisonale Periodizitäten in Beziehung zu setzen. Eine Kombination aus visueller Lagenzählung, Spektralanalyse der chemischen Zyklizität und chemischer Lagenzählung zeige, dass der Rudist 372 tägliche Laminen pro Jahr bildete. Dies demonstriere, dass die Länge des Tages seit der späten Kreide zugenommen habe, wie es von astronomischen Modellen vorausgesagt werde.<sup>40</sup>

## Schlussfolgerung

DE WINTER et al. (2020, 17) machen u. a. geltend, dass sie mit ihrem Ansatz "ein neues, genaueres Arbeitsmittel liefern, um die Länge des Tages in der Erdgeschichte zu bestimmen, und somit unabhängig die Entwicklung des Erde-Mond-Systems über die geologische Zeit einzugrenzen" vermögen.

## Material und Untersuchungen

Es liegt ein vollständiges Exemplar von *T. sanchezi* aus Oman vor. An zwei parallelen, polierten Längsschnitten (ihre Figs. 1a und 1e) der rechten, becherartigen "unteren" Klappe sind nachfolgende Messungen vorgenommen worden. Die mm-Angaben für die Messabschnitte beziehen sich jeweils auf den Abstand zum Boden der Schale. SD1 etc. bezieht sich auf das zur Studie frei abrufbare Datenmaterial, hauptsächlich Excel-Tabellen, mit den Bezeichnungen "Supplementary Data 1" etc.<sup>41</sup>

- Farb-Scanning (6.400 dpi, ~4  $\mu m$ ).
- Mikroröntgenfluoreszenzanalyse (μ-XRF); Auflösung 50 μm bzw. 25 μm (Punkt-für-Punkt): Spurenelementkonzentrationen von Mn, Fe und Sr (SD1: je 5058 Werte; Abschnitt 29,42–147,50 mm).
- Stabile Isotopenanalyse; 500- $\mu$ m-Intervalle; 310 Proben:  $\delta^{13}$ C,  $\delta^{18}$ O (SD1: Abschnitt 33,24–180,33 mm).

<sup>&</sup>lt;sup>40</sup> "A combination of layer counting, spectral analysis of chemical cyclicity and chemical layer counting shows that the rudist precipitated 372 daily laminae per year, demonstrating that length of day has increased since the Late Cretaceous, as predicted by astronomical models" (DE WINTER et al. 2020, 1).

<sup>&</sup>lt;sup>41</sup> Siehe https://zenodo.org/record/3477900#.YZUbgdDMKUk. DE WINTER et al. (2020) führen die "Supplementary Information" zu ihrem Artikel unter DE WINTER et al. (2019). Dem wird hier nicht gefolgt.

- LA-ICP-MS (Laserablation mit induktiv gekoppelter Plasma-Massenspektrometrie)
  - Kontinuierliche Linienscans (10-μm-Spot), Abstand 33,24–164,83mm: Spurenelementkonzentrationen von Li, Ca, Mg und Sr (SD1: je 13.450 Werte).
  - Hochauflösend Punkt-für-Punkt (10 μm) für sechs 2-mm-Profile: Spurenelementkonzentrationen von Li, Mg, Sr, Mn und Fe (SD1: je 200 Werte).

Des Weiteren sind mikroskopische Untersuchungen an Dünnschliffen und polierten Längsschnitten vorgenommen worden.

## Diskussion

Das von DE WINTER et al. (2020) ausgewiesene Ergebnis von 372  $\pm$  8,4 Tagen für das campanische Jahr (Oberkreide) ist unter Berücksichtigung der Unsicherheit (8,4 Tage) nicht von dem heutigen Wert von 365,25 Tagen pro Jahr unterscheidbar (Abb. 7). Dies gilt entsprechend für die ausgewiesene Länge des campanischen Tages von 23 Stunden und 31 Minuten, wenn die Unsicherheit (relativ 2,3 %) berücksichtigt wird. Insofern ist mit dem einen Exemplar von *T. sanchezi* nicht der Nachweis darüber erbracht worden, dass die Tage im Campanium kürzer waren.

Nichtdestrotz wird aufgrund des zugänglichen und umfangreichen Datenmaterials der Versuch unternommen, das methodische Vorgehen DE WINTER et al. (2020) nachzuvollziehen und die Ergebnisse (bzw. Zwischenergebnisse) zu reproduzieren und zu hinterfragen (einige Details hierzu werden im Anhang aufgeführt).





Darstellung des von DE WINTER et al. (2020) ausgewiesenen Ergebnisses von 372 ± 8,4 Tagen im Verhältnis zum heutigen Wert von 365,25 Tagen (rote Linie). In ihrem Appendix 1 wird ein Alter von 74,5 Millionen [radiometrischen] Jahren vor heute angesetzt. Diskussion s. Textteil.

#### 3.6.1.1 Jahreszyklus

DE WINTER et al. (2020) weisen einen Zyklus im cm-Bereich mit einer Periode von 14,8  $\pm$  0,1 mm aus; er wird als saisonal bezeichnet und als Jahreszyklus interpretiert.<sup>42</sup> Demnach wäre der Skelettzuwachs der rechten Klappe des Rudists periodisch verlaufen und hätte im Durchschnitt 14,8 mm pro Jahr betragen. In Appendix 1 wird für den gleichen Zyklus allerdings ein Wert von 13,4  $\pm$  0,74 mm genannt.<sup>43</sup> Genau diesen Wert präsentiert zuvor DE WINTER (2018).<sup>44</sup> Die Diskrepanz wird nicht erklärt; es wird auch nicht auf eine solche hingewiesen.

**Analyse.** In Table 1 listen DE WINTER et al. (2020) für alle modellierten Proxy-Wertereihen des gesamten Profils ("Long record") die jeweilige mit der Spektralanalyse ermittelte Länge (Periode) des Jahreszyklus. Der Mittelwert dieser sechs Analysen beträgt 13,4 mm (s. Tab. 14) und stimmt mit dem ausgewiesenen Wert in Appendix 1 überein. Diese in Table 1 aufgeführten Perioden korrespondieren allerdings nicht mit den Werten in Multitaper-Tabellen (SD5: MTM-Resultate, auf Basis von SD3: Bandpass-Resultate); der Verfasser hat die Power-Maxima in dem Perioden-Bereich aus den Tabellen ausgelesen und in Tab. 14 aufgeführt. Der Mittelwert dieser Perioden von 15,0 mm würde sich mit den von DE WINTER et al. (2020) im Hauptteil ausgewiesen 14,8 mm nahezu decken. Die Diskrepanz lässt sich dennoch nicht lösen; DE WINTER et al. (2020) operieren mit der Periode von 14,8  $\pm$  0,1 mm (s. u.).

Visuell lassen die Rohdaten-Kurven für die stabilen Isotopen(verhältnisse)  $\delta^{13}$ C und  $\delta^{18}$ O (Abb. 10) eine Periodizität vermuten, die etwa ab 80 mm aufwärts und bei  $\delta^{13}$ C insgesamt deutlicher ausgeprägt erscheint. Bei den Lomb-Periodogrammen (Varianzspektren) korrespondieren zwei signifikante Peaks (Abb. 12 a/b; Tab. 14, Pos. 1–2, Roh-1 und Roh-2) mit Perioden von 13,33/13,68 und 16,56/16,56 mm. Eine spektrale Betrachtung des deutlich ausgeprägteren Bereiches ab 80 mm unterstreicht das Vorhandensein von zwei Perioden (Abb. 13). Auch die von DE WINTER et al. (2020) modellierten Wertereihen (sinusoidale Passungen, Abb. 11) zeigen zwei signifikante Peaks (Abb. 12 c/d; Tab. 14, Mod-1 und Mod-2) mit Perioden von 13,84/14,00 und 16,56/16,56 mm. Die Resultate unterscheiden sich nicht oder nur geringfügig von denen der Rohdaten-Wertereihen.

<sup>&</sup>lt;sup>42</sup> DE WINTER et al. (2020, 12): "Seasonally resolved geochemical proxy records (Mg/Ca, Sr/Ca, Mg/Li, Sr/Li, δ<sup>18</sup>O, and δ<sup>13</sup>C) measured in growth direction through the well-preserved part of the shell, and rhythmic alternations of dark and light shell calcite show a statistically significant (p ≤ 0.05) cyclicity linked to the seasonal cycle with a period of 14.8 ± 0.1 mm." Und Seite 13: "The first estimate of the number of laminae deposited by *T. sanchezi* within one year was obtained by dividing the length of the annual by that of the daily cycle (...)"; für "length of the annual" wird dann der Wert 14,8 ± 0,1 mm eingesetzt.

<sup>&</sup>lt;sup>43</sup> DE WINTER et al. (2020), Appendix 1 (S. 6): "Periodicity with a mean period of 13.4 ± 0.74 mm was discovered in proxy records along the length of *T. sanchezi* shell." Und weiter unten: "Based on these considerations and on the discussion in de Winter et al. (2017) we conclude that variability with a period of 13.4 mm observed in proxy records in the shell of *T. sanchezi* can only be seasonal in origin. This conclusion is further supported by the discovery of diurnal and tidal periodicities in the shell at higher frequencies, as described in this manuscript."

<sup>&</sup>lt;sup>44</sup> DE WINTER (2018, 188): "The average period of the seasonal cycle extracted from these records is 13.4 ± 0.7 mm (1SD)." – Es handelt sich um ein in seiner Dissertation aufgenommenes Manuskript (chapter 2.7) mit dem Titel Daily chemical variability in a Late Creataceous rudist shell, welches sich zu diesem Zeitpunkt bei der Fachzeitschrift Science Advances "under review" befand. Das Manuskript muss abgelehnt oder zurückgezogen worden sein; eine Überarbeitung führte wohl zu der Veröffentlichung in Paleoceanography and Paleoclimatology (DE WINTER et al. 2020; eingereicht am 10. Juli 2019, überarbeitetes Manuskript am 8. Januar 2020).

Die Lomb-Periodogramme der aus den Spurenelement-Rohdatenreihen (Mg, Sr, Ca, Li) gebildeten Spurenelement-Verhältnisreihen (Mg/Ca, Mg/Li, Sr/Ca, Sr/Li) zeigen dagegen zahlreiche Peaks mit einem Signifikanz-Level > 95 % auf, sodass möglicherweise kein echten Periodizitäten vorliegen oder diese maskiert sind (Abb. 15 und Abb. 17). Die aus dem entsprechenden Suchintervall (Perioden zwischen 10 und 20 mm) ausgelesen Perioden (Abb. 14 und Abb. 16; Tab. 14, Pos. 3–6, Roh-1 und Roh-2) stimmen mit den Perioden von  $\delta^{13}$ C und  $\delta^{18}$ O nicht überein. Deshalb ist es fraglich, ob die Bildung eines Mittelwertes über alle sechs Wertereihen (Tab. 14, Pos. 1–6), so wie es DE WINTER et al. (2020) getan haben, überhaupt eine Aussagekraft hat.<sup>45</sup>

		de Winte (2020)	er et al.	diese A	rbeit						
Pos.	Werte- reihen (gesamtes Profil)	Periode [mm], MTM <sup>1)</sup>		l Peaks	Periode [mm], MTM; Maxima						
		Table 1	SD5 <sup>2)</sup>	modellierte Wertereihen (SD3)			Rohdaten-Wertereihen (SD1)			(wie nebenstehend)	
			200	Mod-1	Mod-2	n	Roh-1	Roh-2	n	Mod	Roh
1	d <sup>13</sup> C	14,47	17,20	13,84	16,56	295	13,68	16,56	310	17,66	17,06
2	d <sup>18</sup> O	12,94	16,40	14,00	16,56	295	13,37	16,56	310	16,52	17,06
3	Mg/Ca [mmol/mol]	13,74	16,05				11,57	16,20	12443		
4	Mg/Li [mol/mol]	12,45	12,90				10,74	15,95	12167		
5	Sr/Ca [mmol/mol]	13,58	14,95				11,83	14,82	12535		
6	Sr/Li [mol/mol]	13,00	12,65				10,63	15,48	12322		
7	Mittelwert in Kap. 3	14,8	± 0,1								
8	Mittelwert in App. 1 (Seite 6)	13,4 ±	: 0,74								
	diese Arbeit										
9	Mittelwert Pos. 1-2	13,71	16,80	13,92	16,56		13,53	16,56			
10	Mittelwert Pos. 1-6	13,36	15,03				11,97	15,93			

Tab. 14 Spektralanalyse der Wertereihen, Jahreszyklus.

Die ausgewiesene Periode 13,4 ± 0,74 mm (Pos. 8) ist sehr wahrscheinlich ein Mittelwert aus den ausgewiesenen Pos. 1–6, hier 13,36 mm (ohne Standardabweichung). Die ausgewiesene Periode 14,8 ± 0,1 mm (Pos. 7) ist möglicherweise ein Mittelwert aus den Power-Maxima (der entsprechenden Suchbandbreite) der Pos. 1–6, hier 15,03 mm (ohne Standardabweichung). Für  $\delta^{13}$ C und  $\delta^{18}$ O stimmen die Periodogramm-Peaks der Rohdaten-Wertereihen und der modellierten Wertereihen überein mit Ausnahme von Mod-1/Roh-1 ( $\delta^{18}$ O). Der Vergleich der Periodogramm-Peaks Roh-1/Roh-2 bzw. Mod-1/Mod-2 mit den Werten in Spalte "Table 1" bzw. "SD5" zeigt, dass nur in wenigen Fällen quasi übereinstimmende Werte vorliegen: Z. B. Pos. 2: SD5, Mod-2, Roh-2; hierzu passt auch Mod (MTM-Peak). Legende: 1) MTM, Multitaper-Methode; Anwendung bezieht sich auf die modellierten Wertereihen. 2) Aus SD5 vom Verfasser ausgelesen (jeweils Power-Maxima in der Suchbandbreite). Dateien: Supplementary\_Data\_1\_chemical\_results (SD1), Supplementary\_Data\_3\_Bandpass\_results (SD3), Supplementary\_Data\_5\_MTM\_results (SD5). Siehe auch Abb. 10 bis Abb. 17.

<sup>&</sup>lt;sup>45</sup> "The first estimate of the number of days per year (**cycle length**) was made by dividing the length of the annual cycle, in micrometer shell length along the record extracted from the long trace element and stable isotope records (Figure 1a) using the identification of significant peaks from the MTM spectrum (Figure 1b), by the length of the daily cycle extracted similarly from the power spectra of high-resolution records. The uncertainties of these two estimates were calculated as the standard deviation of variability between cycle length estimates from the records (N = 6 for the annual cycle in seasonally resolved Mg/Ca, Mg/Li, Sr/Ca, Sr/Li,  $\delta^{18}$ O, and  $\delta^{13}$ C records; N = 4 for the daily cycle in subdaily resolved Mg/Ca, Mg/Li, Sr/Ca, Sr/Li records), and propagated through the calculation" (DE WINTER et al. 2020, 7).

Fazit: Dem Verfasser ist es nicht gelungen, eine Periode von 14,8 mm (Länge des jährlichen Zyklus) aus der Analyse der Rohdaten zu generieren. Da die Periodenwerte der Spurenelement-Verhältnisreihen nicht sicher sind, verbleiben die Periodenwerte der Reihen der stabilen Isotope: 16,56 mm und 13,53 mm (Tab. 14, Pos. 9), wobei für 16,56 mm eine höhere Leistung vorliegt.

#### 3.6.1.2 Tageszyklus

Feine Laminen (Hell-/Dunkel-Lagencouplets) mit einer Dicke von durchschnittlich etwa ~40  $\mu$ m werden von DE WINTER et al. (2020) als tägliche Wachstumsinkremente interpretiert. Diese Periodizität soll auch in der Spurenelement-Aufzeichnung erkennbar und folglich quantifizierbar sein.

		de Winter et al. (2020)	diese Arbeit						
Pos.	Werte-	Periode [µm], MTM <sup>1)</sup>	Periode [µm], Lomb-Periodogramm						
	reinen (gesamtes Profil)	SD5 <sup>2)</sup> ;	modellierte We (SD3)	rtereihen	Rohdaten-Wertereihen (SD1)				
		Ergebnisse von SD3	Signifikanz	n	Signifikanz	n			
1	Mittelwert (Kap. 3)	42,7 ± 0,34							
	diese Arbeit								
2	Mg/Ca [mmol/mol], Ø	43,87	ja, aber fiktiv	164662	nein	12443			
3	Mg/Li [mol/mol], Ø	43,49	ja, aber fiktiv	164662	nein	12167			
4	Sr/Ca [mmol/mol], Ø	43,22	ja, aber fiktiv	164662	nein	12535			
5a		27.04	ja, aber fiktiv	164662		40000			
5b	Sr/Li [moi/moi], Ø	37,91	ja, aber fiktiv	83546	nein	12322			
6	Mittelwert Pos. 2-5	42,12							

Tab. 15 Spektralanalyse der Spurenelement-Wertereihen, Tageszyklus.

In den Lomb-Periodogrammen sind keine realen Peaks mit einem Signifikanz-Level ≥ 95 % vorhanden. Legende: 1) MTM, Multitaper-Methode; Anwendung bezieht sich auf die modellierten Wertereihen. 2) Aus SD5 vom Verfasser ausgelesen (jeweils Power-Maxima in der Suchbandbreite). Dateien: Supplementary\_Data\_1\_chemical\_results (SD1), Supplementary\_Data\_3\_Bandpass\_results (SD3), Supplementary\_Data\_5\_MTM\_results (SD5). Siehe auch Abb. 21 und Abb. 22).

**Analyse.** Die "Länge des täglichen Zyklus" ermitteln DE WINTER et al. (2020) spektralanalytisch von den hochauflösenden Spurenelement-Aufzeichnungen des Gesamtprofils; aus den vier Wertereihen Mg/Ca, Mg/Li, Sr/Ca, Sr/Li.<sup>46</sup> Sie weisen eine gemittelte "Länge des täglichen Zyklus" von 42,7 ± 0,34 µm aus (Tab. 15, Pos. 1); die vier Einzelergebnisse werden nicht mitgeteilt. Ihre Spektralanalyse bezieht sich auf die jeweils modellierten Wertereihen (n = 164662; Profilabschnitt 33,24–164,82 mm,  $\Sigma$  131,58 mm); diese entstanden durch Bandpass-Filterung der Rohdaten-Wertereihe (n = max. 13450<sup>47</sup>; Profilabschnitt 33,24–164,82 mm,  $\Sigma$ 

<sup>&</sup>lt;sup>46</sup> Siehe Fußnote 45, letzter Teil.

<sup>&</sup>lt;sup>47</sup> Für Hunderte Profilpunkte liegt kein Spurenelement-Wert vor ("n.d.", wohl für not defined). Deshalb ist die jeweilige Anzahl der Wertepaare für die Spektralanalyse kleiner (zwischen 12167 und 12535; s. Tab. 15, letzte Spalte).
131,58 mm) und Erweiterung der Datenbasis um einen Faktor 10 durch lineare Interpolation.<sup>48,49</sup>

Zu den Spurenelement-Wertereihen des Gesamtprofils ist nach der spektralen Analyse festzustellen:

- Lomb-Periodogramme der Rohdaten-Wertereihen zeigen f
  ür das Fenster 20–40 Zyklen/mm (entspricht Perioden von 50–25 μm) keine signifikanten Zyklen; alle Peaks liegen unterhalb des Signifikanz-Levels von 95 % (Abb. 18, Abb. 19a).
- Das Lomb-Periodogramm der modellierten Wertereihe Sr/Li (Ausschnitt 33–100 mm, n = 83546) zeigt für das Fenster 20–40 Zyklen/mm (entspricht Perioden von 50–25 μm) eine extrem verstärkte Leistung. Dutzende Peaks überschreiten nun weit den Signifikanz-Level von 99 % (vgl. Abb. 19a und Abb. 19b).
- Mit Bezug auf die jeweilige Datenbasis der modellierten Wertereihen kann aus der Vielzahl der Perioden immer ein Wert gefunden werden, der mit der von DE WINTER et al. (2020) gesuchten Periode (optischen Messergebnisse) übereinstimmt bzw. nahezu übereinstimmt.
- In diesem Sinne hat der Verfasser aus SD5 für die vier modeliierten Spurenelement-Wertereihen MTM-Peaks ausgelesen (Tab. 15, Pos. 2–5) und einen Mittelwert von 42,12  $\mu$ m ermittelt (Pos. 6), der dem ausgewiesenen Wert von 42,7 ± 0,34  $\mu$ m (Pos. 1) nahekommt (weitere Optionen s. Tab. 27).

Für die sechs kurzen 2-mm-Profile werden insgesamt 24 Ergebnisse ausgewiesen (ihre Table 1), jeweils die Periode in µm und die Anzahl der Zyklen. Für drei der Spurenelement-Aufzeichnungen werden zunächst die Rohdaten-Wertereihen (n = 200) und die dazu modellierten Wertereihen (n = 1990) abgebildet (Abb. 20, Abb. 22 und Abb. 24). Diese entstanden – wie zuvor (s. o.) – durch Bandpass-Filterung und Erweiterung der Datenbasis um einen Faktor 10 durch lineare Interpolation.

Zu einzelnen Spurenelement-Wertereihen der Teilprofile I–VI ist nach der spektralen Analyse festzustellen:

- Lomb-Periodogramme der Rohdaten-Wertereihen zeigen keine signifikanten Zyklen; alle Peaks liegen unterhalb des Signifikanz-Levels von 95 % (Abb. 21a, Abb. 23a und Abb. 25a).
- Lomb-Periodogramme der modellierten Wertereihen zeigen für das Fenster 20–40 Zyklen/mm (entspricht Perioden von 50–25 μm) die gleichen Peak-Muster wie die Rohdaten-Wertereihen, die Leistung ist aber (erwartungsgemäß) extrem verstärkt; zahlreiche Peaks überschreiten nun weit den Signifikanz-Level von 99 % (vgl. Abb. 21a und Abb. 21b, Abb. 23a und Abb. 23b sowie Abb. 25a und Abb. 25b).
- Wie bei mehreren etwa gleich starken Peaks DE WINTER et al. (2020) eine Auswahl für einen Wert getroffen haben ist unklar; auch die Multitaper-Spektrogramme sind vieldeutig (Abb. 21c, Abb. 23c und Abb. 25c).

<sup>&</sup>lt;sup>48</sup> "For better results, records were linearly interpolated to increase the sample size by a factor 10" (DE WINTER et al., Appendix 1, 8).

<sup>&</sup>lt;sup>49</sup> Rechnerisch ist der Faktor in dieser Fallgruppe ≥ 12,24 (164662/max. 13450).

- Mit Bezug auf die jeweilige Datenbasis der modellierten Wertereihen kann aus der Vielzahl möglicher Perioden immer ein Wert gefunden werden, der mit der von DE WINTER et al. (2020) ausgewiesenen Periode übereinstimmt bzw. nahezu übereinstimmt (Tab. 16): Zeile 1b: 33,78 zu 33,78 μm; Zeile 2b: 37,31 zu 37,23 μm; 37,92 zu 37,59 μm.
- Ein Vergleich der Lomb-Periodogramme und Multitaper-Spektrogramme der modellierten Wertereihen (Linienscan- vs. Punkt-für-Punkt-Aufzeichnung für Sr/Li, Profilabschnitt 128,74 bis 130,74 mm = Ausschnitt VI) zeigt kein übereinstimmendes Muster (vgl. Abb. 25 und Abb. 26).

Bei- spiel	Modellierte Wer-	Spektral-	de Winter et al. (2020)	diese Arbo	əit				
	tereihe (de Winter et al. 2020)	analyse (Methode)	Periode	Periode [µm], Peaks (Ausweis von maximal 5)					
	,		[þm]	1	2	3	4	5	
1a	Mg/Ca [mmol/mol],	Periodogramm		30,31	32,54	39,68	42,88	48,80	
1b	Teilprofil IV	Multitaper	33,78	26,74	33,78	41,32			
2a	Sr/Ca [mmol/mol],	Periodogramm		38,43					
2b	Teilprofil V	Multitaper	37,31	37,23					
3a	Sr/Li [mol/mol],	Periodogramm		30,49	32,57	37,04	39,37		
3b	Teilprofil VI	Multitaper	37,92	31,55	35,59	37,59			

Tab. 16 Spektralanalyse modellierter Wertereihen, Teilprofile.

Vergleich der von DE WINTER et al. (2020) ausgewiesenen Perioden mit relativen Peaks (Perioden) der modellierten Wertereihen. Siehe auch Abb. 21, Abb. 23 und Abb. 25. Diskussion s. Textteil.

Weitere Analysen haben gezeigt, dass auch die Rohdaten-Wertereihen von Mg/Ca (Teilprofil I), Mg/Li (Teilprofile I, II und VI) und Sr/Li (Teilprofil III) keine signifikanten Zyklen zeigen, sodass angenommen wird, dass dieser Sachverhalt auch für die restlichen Rohdaten-Wertereihen zutrifft.

Fazit: Die Rohdaten-Wertereihen zeigen spektralanalytisch keine signifikanten Zyklen; alle Peaks liegen unterhalb des Signifikanz-Levels von 95 %. Daraus wird gefolgert, dass die Spektren der zugehörigen modellierten Wertereihen keine wirklichen Periodizitäten liefern; die Signifikanzwerte > 99 % sind irreführend. Es ist also nicht der Nachweis erbracht worden, dass die Spurenelement-Aufzeichnungen erkennbare und quantifizierbare Periodizitäten – hier für tägliche Wachstumsinkremente – liefern.

## 3.6.1.3 Altersmodell

Das Altersmodell basiert auf der  $\delta^{18}$ O-Wertereihe (Datei SD1) und einer Vorab-Definition der jährlichen Zyklen (Tab. 17).<sup>50</sup> Die jeweiligen Positionen des Anfangs eines neuen Jahreszyklus

<sup>&</sup>lt;sup>50</sup> Zur Altersinterpretation des Rudisten findet sich in Appendix 1 (S. 6) eine interessante Aussage: "One problem with the interpretation of sclerochronology records is the lack of independent age control in fossil bivalve shells. No absolute method exist that allows dating of fossil bivalves with a precision better than a year. Therefore, it is not possible to independently verify the age of a fossil shell, and interpretation of seasonality

sind in Datei SD6, Blatt "sampled", scheinbar durch die eingeschobenen Leerzeilen markiert. Die Alters-zu-Tiefen<sup>51</sup>-Transformation erfolgte über eine Programmroutine (mit Verweis auf JUDD et al. 2018). Das Ergebnis ist eine Zeitskala, die für jeden (modellierten) Tag ein tägliches Wachstum ausweist. Insgesamt sind 1077 Tage hinzugefügt bzw. ausgegliedert worden, an welchen kein Wachstum stattfand (Tab. 28, letzte Spalte). Die Auswirkung der Transformation auf die Verteilung der Wertepaare der Rohdatenreihen  $\delta^{18}$ 0 und  $\delta^{13}$ C zeigen de WINTER et al. (2020) in ihrer Fig.3 (für  $\delta^{18}$ 0 s. Abb. 27).<sup>52</sup>

Abstand	Jahreszyklus	Alters	modell
Boden [mm]	(δ <sup>18</sup> Ο)	Anzahl Tage	Tage/Zyklus
33,24	1	0	329
41,56	2	329	366
53,74	3	695	365
66,24	4	1060	365
78,74	5	1425	365
92,74	6	1790	398
112,74	7	2188	332
129,24	8	2520	407
147,74	9	2927	323
165,83	10	3250	363
177,33	11	3613	
	2-10	3284	365

Tab. 17 Altersmodell I.

Vorgegebene Jahreszyklen und Altersmodell nach Blatt "sampled" (SD6). Daten von DE WINTER et al. (2020); Datei: Supplementary\_Data\_6\_growth\_model\_comp.xlsx (SD6).

Analyse. Mit Bezug auf Input und Output gilt es festzuhalten:

- Eine bereits bestehende Zeitskala ( $\delta^{18}$ O-Reihe, Jahreszyklen-Interpretation; Tab. 17) wird feinabgestimmt.<sup>53</sup>
- Eine sinusoidale Passung mit einer Periode von 365 Tagen mit den Daten von Blatt "sampled" (SD6) – zeigt 10 vollständige Perioden (Abb. 28).
- Die  $\delta^{13}$ C-Reihe zeigt eine im Vergleich zur  $\delta^{18}$ O-Reihe deutlichere Periodizität mit (nur) 9 vollständigen Perioden; diese "solidere" Grundlage – ausgehend von einer Interpretation der Perioden als Jahreszyklen – hätte zu einem anderen Altersmodell geführt.

in these records has to rely on comparison with modern analogues in with known ages" (DE WINTER et al. 2020).

<sup>&</sup>lt;sup>51</sup> Üblicher Ausdruck; Tiefe bedeutet hier der Abstand zum Gehäuseboden (Profiltiefe).

<sup>&</sup>lt;sup>52</sup> SD6 liefert für die Rohdaten-Wertereihe  $\delta^{13}$ C keine modellierten Tage (siehe aber eine grafische Aufbereitung in Fig. 3a von DE WINTER et al. 2020).

<sup>&</sup>lt;sup>53</sup> "The model takes isotope data and positions of the onset of annual cycles in the record as input. It then iteratively fits a combination of sinusoids of growth rate and temperature to every consecutive year in the record, after which the age models can be stitched together to produce a single continuous age sequence for the full isotopic record. Results of this age model are given in Data S6 and plotted in Figure 3. As a result, the model produces an age in days of the year relative to the seasonal cycle for each stable isotope measurement. These modeled ages in turn allow the determination of growth rates (in mm/day) in the direction of measurement for each day of growth" (DE WINTER et al. 2020, 5).

- Die Jahre werden neu definiert, beginnend mit Tag 1 (Abstand vom Gehäuseboden 33,23 mm) und einer sukzessiven Ausgliederung von jeweils 365 Tagen (Tab. 18, vgl. mit Tab. 17; SD6, Blatt "model").
- Das Altersmodell umfasst 10,9 sukzessive Jahre (3979 Tage, n = 3979). Allerdings stimmt die Startposition von Jahr 11 178,65 mm (Tab. 18) nicht mit der Angabe im Textteil von DE WINTER et al. (2020) überein, dort 176 mm.<sup>54</sup> Auch ist die Profilangabe für die ersten neun Jahre 30–160 mm vom Gehäuseboden ungenau bzw. unklar<sup>55</sup>; nach dem Altersmodell müsste es gerundet 33–167 mm lauten (Tab. 18). Auch passen weitere Angaben von DE WINTER et al. (2020,13) nicht<sup>56</sup> verglichen mit den Daten von SD6 (Tab. 17 und Tab. 18).

Altersmodell		Abstand B	oden [mm]	Wachstum pro	Wachstum	
Tage	Jahre	von	bis	Jahr [mm]	pro Tag [µm]	
0-365	1	33,23	45,32	12,09		
366-730	2	45,32	57,30	11,98		
731-1095	3	57,30	67,23	9,93		
1096-1460	4	67,23	81,29	14,06		
1461-1825	5	81,29	96,77	15,48		
1826-2190	6	96,77	112,75	15,98		
2191-2555	7	112,75	129,57	16,82		
2556-2920	8	129,57	147,74	18,17		
2921-3285	9	147,74	167,11	19,37		
3286-3650	10	167,11	178,65	11,54		
3651-3979	11 (bis 10,9)	178,65	188,87			
3979	10,9	33,23	188,87	14,28	39,12	
3650	10	33,23	178,65	14,54	39,84	

Tab. 18 Altersmodell II.

Altersmodell und Einteilung der Jahre nach Blatt "model" (SD6). Daten von DE WINTER et al. (2020); Datei: Supplementary\_Data\_6\_growth\_model\_comp.xlsx (SD6).

- Die insgesamt 1077 hinzugefügten bzw. ausgegliederten Tage ohne Wachstum werden im Textteil nicht erwähnt und folglich auch nicht kommentiert.
- Nach dem Altersmodell beträgt das durchschnittliche Wachstum pro Jahr 14,28 mm<sup>57</sup> und das durchschnittliche Wachstum pro Tag 39,12 μm (Tab. 18); diese Werte sind weder im Textteil noch im Appendix 1 von DE WINTER et al. (2020) zu finden. In Datei SD6,

<sup>&</sup>lt;sup>54</sup> "As a result, the model shows that a total of 10 growth years are captured in the stable isotope records (the last year starting 176 mm from the shell bottom is not complete), while the shorter (30–160 mm from shell bottom) but higher-resolution trace element records cover only nine growth years (see also Figure 1a). Age modeling using the routine by Judd et al. (2018) is more successful in the last six recorded years, which exhibit clearer seasonal fluctuations than the noisier first four years" (DE WINTER et al. 2020, 12).

<sup>&</sup>lt;sup>55</sup> Siehe Fußnote 54.

<sup>&</sup>lt;sup>56</sup> "(...) with lamina thickness increasing in the first one to two recorded growth years (or between 30 and 65 mm; Figure 1a) and stabilizing after year 2. The variability in daily lamina thickness seems to diminish with age, as is evident from decreased amplitude of variation after year 5 (~105 mm; Figure 1a)" (DE WINTER et al. 2020, 13).

<sup>&</sup>lt;sup>57</sup> Zeile 3979 (Tage): (188,87 mm – 33,23 mm)/10,9 a = 14,28 mm/a.

Blatt "model", Spalte F, wird für jeden Tag ein Wert für die "jährliche Wachstumsrate" ausgewiesen. Der Mittelwert dieser Spalte beträgt 14,795 mm; er weicht deutlich von dem o. a. Wert von 14,28 mm ab, ist aber (gerundet) identisch mit der ausgewiesenen Periode des "saisonalen Zyklus" von 14,8 mm (s. Abschnitte 3.6.1.1 und 3.6.1.4).

# 3.6.1.4 Anzahl Tage pro Jahr im Campanium (Oberkreide)

# Schätzung "Zykluslänge"

DE WINTER et al. (2020, 12) bilden einen Quotienten aus Länge des jährlichen Zyklus und Länge des täglichen Zyklus: 14,800  $\pm$  0,1 mm / 42,7  $\pm$  0,34  $\mu$ m; ergibt 346  $\pm$  3,3 Tage (Laminen) pro Jahr.

**Analyse.** Wie unter den Abschnitten 3.6.1.1 und 3.6.1.2 ausgeführt, ist nicht nachvollziehbar und folglich nicht nachrechenbar, wie die Länge des jährlichen Zyklus und die Länge des täglichen Zyklus von DE WINTER et al. (2020) ermittelt wurde. Dagegen ist derselbe Quotient, wie er zuvor in DE WINTER (2018) zur Anwendung kommt und als Ergebnis 366 ± 28 Tage (Laminen) pro Jahr (1 $\sigma$ ) liefert, rechnerisch überprüfbar: 13,4 ± 0,72 mm / 36,5 ± 2,0 µm (Tab. 19; Zeile Mittelwert und Standardabweichung; 13,4 mm gerundet für 13,364 mm).

	Jahreszyklus	Tageszyklus	
Wertereihen	Periode [µm] (Table 1, "long record")	Periode [µm] (Table 1, Ø I-VI)	Anzahl Tage pro Jahr
Mg/Ca	13743	36,89	
Mg/Li	12449	36,32	
Sr/Ca	13582	36,25	
Sr/Li	13002	36,53	
d <sup>13</sup> C	14471		
d <sup>18</sup> O	12939		
Mittelwert	13364	36,50	366,2
Standardfehler (SEM)	292	0,41	
Standardabweichung (SD)	716	2,02	28,2
Standardabweichung (SD), relativ	5,4%	5,5%	7,7%

#### Tab. 19 Anzahl der Tage pro Jahr I.

Für die Spurenelement-Wertereihen mit Bezug auf den Tageszyklus liegen insgesamt 4 x 6 = 24 Einzelergebnisse vor (s. Tab. 29); Standardfehler und Standardabweichung beziehen sich auf diese Einzelergebnisse. Nach DE WIN-TER (2018) und DE WINTER et al. (2020).

Bei dem von DE WINTER et al. (2020) ausgewiesen Ergebnis von 346 ± 3,3 Tagen (Laminen) pro Jahr soll es sich mit Bezug auf die Unsicherheit um eine (fortgepflanzte) Standardabweichung handeln.<sup>58</sup> Wird mit den Werten von Tab. 19 erneut gerechnet, unter Berücksichtigung

<sup>&</sup>lt;sup>58</sup> "The uncertainties of these two estimates were calculated as the standard deviation of variability between cycle length estimates from the records (N = 6 for the annual cycle in seasonally resolved Mg/Ca, Mg/Li, Sr/Ca, Sr/Li,  $\delta^{18}$ O, and  $\delta^{13}$ C records; N = 4 for the daily cycle in subdaily resolved Mg/Ca, Mg/Li, Sr/Ca, Sr/Li records), and propagated through the calculation" (DE WINTER et al. 2020, 7).

von 4 (jeweiligen Durchschnittswerte für die Teilprofile I–VI) anstelle 24 Werten für den Tageszyklus, ergäbe dies allerdings eine Unsicherheit von ± 20 Tagen.

## Schätzung "visuelle Lagenzählung"

Als Ergebnis einer Abzählung der täglichen Laminen entlang des Längsschnitts bzw. an den Dünnschliffpräparaten (ihre Figures 2 und S13; Auflicht- und Durchlichtmikroskopie) werden von DE WINTER et al. (2020) 338 ± 20 Tage (Laminen) pro Jahr ausgewiesen.

**Analyse.** In den Supplementary Data werden zur "visuellen Lagenzählung" keine Einzeldaten geliefert. Es fehlen insbesondere Angaben zur Abgrenzung der Jahre (Kriterien, Position Profil) sowie die Zählergebnisse pro Jahr (ggf. Mehrfachergebnisse, wenn unterschiedliche Personen gezählt haben). Der Verfasser hat die in Figure 2 markierten Tagesinkremente für vier markierte, fortlaufende Jahre ausgezählt. Die Abzählung erfolgte einmalig und ist auch aufgrund der mitunter sehr dicht beieinanderliegenden Striche (Tagesmarkierungen) mit einer Unsicherheit behaftet. Das Ergebnis für diesen 4-Jahresausschnitt ist 326 ± 17 Tage (Laminen) pro Jahr (Tab. 20). Dies lässt zumindest darauf schließen, dass es sich bei dem ausgewiesenen Wert von 338 ± 20 Tage (Laminen) pro Jahr bei der Unsicherheit um eine Standardabweichung handelt.

"visuelle Lagenzählung" (Figure 2)	Anzahl markierter Tagesinkremente pro markiertem Jahr
Figure 2A/B	310
Figure 2B	350
Figure 2B/C	321
Figure 2C	322
Mittelwert	325,75
Standardfehler (SEM)	8,53
Standardabweichung (SD)	17,06
Standardabweichung (SD), relativ	5,2%

Tab. 20 Abzählung markierter Tagesinkremente.

Die Abzählung bezieht sich auf die entsprechenden Markierungen in Figure 2 von DE WINTER et al. (2020).

## Schätzung "chemische Lagenzählung"

Die "chemischen Lagenzählung" erfolgt nach DE WINTER et al. (2020) an zu den 4 Spurenelement-Reihen (Gesamtprofil) konstruierten Tageszyklen-Reihen und bezieht sich jeweils auf 9 Wachstumsjahre.<sup>59</sup> Das präsentierte Ergebnis von 372 ± 12 Tage (Laminen) pro Jahr ist der

<sup>&</sup>lt;sup>59</sup> "The third estimate the number of days per year (**chemical layer counting**) is unique to this study and uses fixed points (maxima, minima, and crossover points) of cycles extracted from the high-resolution trace element records by band-pass filtering to obtain a record of day-by-day cycle length along the complete nineyear-long record measured in *T. sanchezi* (Figure 1a and section 3). Not only does this estimate allow the number of days per year to be estimated with more confidence (N = 36 independent estimates: nine growth years times four trace element records) (...)" (DE WINTER et al. 2020, 8).

Mittelwert aus 36 Jahres-Abzählungen. Dieses Ergebnis beinhaltet eine Korrektur um fehlende Tageszyklen im Umfang von insgesamt 8 %.

**Analyse.** In SD9 werden 36 Einzelergebnisse (4 Spurenelement-Reihen x 9 Wachstumsjahre) jeweils für die "Vollständigkeit der Aufzeichnung" (Ø 92 %) sowie für die "Tage pro Jahr" (Ø 372 ± 12 Tage) tabellarisch aufgeführt (s. Tab. 30, a und b). Es gibt keinen Hinweis auf die Herkunft der Einzelergebnisse (Erläuterung, Verknüpfung etc.). Bei der Unsicherheit von 12 Tagen handelt es sich um den Standardfehler; die vom Verfasser errechnete Standardabweichung beträgt 70 Tage.

Eine Rückrechnung liefert 36 Einzelergebnisse für "Tage pro Jahr" vor Korrektur (Tab. 30c; "Vollständigkeit" x "Tage pro Jahr"); der Mittelwert beträgt gerundet 341 ± 61 Tage (1σ). Diese Einzelergebnisse korrespondieren mit der Tageszyklen-Konstruktion in SD8 (4 Spurenelement-Reihen, Gesamtprofil), wenn aus den Spalten L (Mg/Ca) bis O (Sr/Li) – überschrieben mit "Position der Laminen im Verhältnis zur Schalenhöhe" – die jeweilige Anzahl der Zyklen für jedes Jahr ermittelt wird. Allerdings werden in SD8 die Wachstumsjahre im Vergleich zum Altersmodell (SD6) geringfügig anders abgegrenzt (s. Gegenüberstellung in Tab. 32); dies wird nicht erläutert und hat die Nachvollziehbarkeit deutlich erschwert.

Wie die "Vollständigkeit der Aufzeichnung" – die Erhaltung – ermittelt wurde, ist mit den gelieferten Daten nicht nachvollziehbar. Nach DE WINTER et al. (2020, 8) wird wie folgt berechnet: % Erhaltung = Anzahl Laminen x Länge Laminen / Länge Jahr.<sup>60</sup> Für Mg/Ca und Jahr-1 beispielsweise beträgt die Anzahl der "Tage pro Jahr" vor Korrektur 311, die Erhaltung 94,8 % und die Anzahl der "Tage pro Jahr" nach Korrektur 328 (Tab. 30). Demnach sind 17 Tage nicht "erkannt" oder – anders ausgedrückt – 311 Laminen "positiv identifiziert" worden. Für Mg/Ca und Jahr-1 können aus SD8 des Weiteren eine mittlere Laminendicke bzw. -länge von 38,43 µm sowie die Länge des Jahres von 11952,8 µm ausgelesen werden. Um rechnerisch eine Erhaltung von 94,8 % zu bekommen, bedarf es nach der o. a. Gleichung einer mittleren Laminen-länge von 36,46 µm oder einer Länge des Jahres von 12607 µm, wobei in Summe die Gesamtlänge nicht verändert werden kann. Jedenfalls ist keiner der beiden Werte in den gelieferten Daten erkennbar.

Es gilt noch anzumerken, dass die Laminen-Korrektur nach Etablierung des Altersmodells erfolgte. Denn die Endpositionen der konstruierten Tageszyklen-Reihen (SD8; 164,8 mm) decken sich weitgehend mit dem Altersmodell (SD6), Tageszyklen vs. modellierte Tage: Mg/Ca: 3218 vs. 3213, 100,2 %; Sr/Ca: 3229 vs. 3213, 100,5 %; Mg/Li: 3128 vs. 3213, 97,4 %; Sr/Li: 3088 vs. 3213, 96,1 %.

<sup>&</sup>lt;sup>60</sup> "(...) it also allows one to calculate the part of the record that preserves daily lamination (%preservation) for each record and each growth year separately. This is achieved by dividing the number of positively identified laminae multiplied by their average length (yielding the fraction of the record containing well-expressed laminae) by the total length of the growth year (as determined from the spacing of annual growth layers in the microscopy images and seasonality recorded in the stable isotope curve): *%preservation = Nlaminae\*Llaminae / Lyear*. The chemical layer counting is corrected for each year and record individually by dividing the number of days per year by the fraction of record preserved" (DE WINTER et al. 2020, 8). – Fortsetzung des Zitats in Fußnote 59.

# Ergebnis "Anzahl der Tage pro Jahr im Campanium"

Die drei Schätzungen (s. o.) werden von DE WINTER et al. (2020, 14) schließlich zu einer zusammengefassten Schätzung mit einem Ergebnis von 372 ± 8,4 Tagen (Laminen) pro Jahr kombiniert (SD9; Tab. 21). Zur Ermittlung dieses Mittelwerts wurden die Schätzungen "Zykluslänge" und "chemische Lagenzählung" zuvor pauschal um 8 % fehlende Laminen korrigiert (Übernahme des unter "chemischer Lagenzählung" ermittelten Korrekturwertes).

		Laminen/ Jahr	Vollstän- digkeit	ollstän- Korrektur fehlende digkeit Laminen		Laminen/ Jahr	Tage/ Jahr	
50	natzmetnode	(vor Korrektur)	der Erhal- tung	Anzahl	%	(nach Korrektur)	(Ober- kreide)	
1	Verhältnis "Zykluslänge"	346 ± 3,3	92%	30	8%	376 ± 3,6		
2	"Visuelle Lagenzählung"	338 ± 20	92%	29	8%	367 ± 22		
3	"Chemische Lagenzählung"	343 ± ?	92%	30	8%	373 ± 12		
4	Kombination aller Methoden (Mittelwert)					372 ± 8,4	372 ± 8,4	

Tab. 21 Anzahl der Tage pro Jahr im Capanium.

Daten aus DE WINTER et al. (2020); kursiv: durch Verfasser berechnet.

**Analyse.** Der Verfasser kann die Schätzung "Zykluslänge" (vor Korrektur) nicht nachvollziehen, die Schätzung "visuelle Lagenzählung" (vor Korrektur) eingeschränkt und die Schätzung "chemische Lagenzählung" (vor Korrektur) im Wesentlichen. Des Weiteren ist die Korrektur um fehlende Laminen nicht nachvollziehbar. Demzufolge kann auch das ausgewiesene Ergebnis von 372 ± 8,4 Tagen (Laminen) pro Jahr nicht nachvollzogen und folglich nicht nachgerechnet werden.

Ungeachtet des Mittelwertergebnisses ist die "fortgepflanzte Unsicherheit von 8,4 Tagen" zu gering, denn die Standardabweichung zur "chemischen Lagenzählung" beträgt 70 Tage (die ausgewiesenen 12 Tage sind der Standardfehler) und eine überschlägige Berechnung der Standardabweichung zur "Zyklenlänge" kommt auf 20 Tage (s. o.). Insofern liegt unter diesen Gegebenheiten bzw. Annahmen mit rechnerisch 25 Tagen eine etwa 3-fach größere Unsicherheit vor als von DE WINTER et al. (2020) ausgewiesen (Tab. 22).

		de Winter	et al. (2020)	diese Arbeit Laminen/ Jahr (nach Korrektur)			
Pos.	Schätzmethode	Lamin (nach K	en/ Jahr (orrektur)				
		Mittelwert	Unsicherheit	Mittelwert	Unsicherheit		
1	Verhältnis "Zyklenlänge"	373	3,6	372,7	20		
2	"Visuelle Lagenzählung"	367	22	367,0	22		
3	"Chemische Lagenzählung"	376	12	376,0	70		
4	Kombination aller Methoden (Mittelwert)	372	8,4	371,9	25,4		

#### Tab. 22 Ergebnisse und Unsicherheiten.

Daten von DE WINTER et al. (2020). Die Mittelwerte der Pos. 1–4 unter "dieser Arbeit" sind vom Verfasser von DE WINTER et al. (2020) übernommen worden. Diskussion s. Textteil.

# 3.6.1.5 Länge des Tages im Campanium (Oberkreide)

Die Länge des Tages im Campanium bestimmen DE WINTER et al. (2020) aus dem Quotienten der Länge eines Jahres in Sekunden (die über die geologische Zeit als konstant betrachtet wird) und der eigens ermittelten Anzahl der Tage pro Jahr (372; s. Abschnitt 3.6.1.4) zu "8,5 x 10<sup>4</sup> Sekunden oder 23 Stunden und 31 Minuten".<sup>61</sup>

Die Anzahl der Laminen pro Jahr sei in enger Übereinstimmung mit vorausgegangenen Schätzungen der Anzahl der Tage in einem spätkretazischen Jahr, die auf unabhängigen Zählungen von Tagesinkrementen verschiedener fossiler Taxa und Kalkulationen der Gezeitendissipation und einer resultieren Abbremsung des Erdorbits basieren.<sup>62</sup>

**Analyse.** Mit den vorliegenden Angaben ist das Ergebnis von 23 Stunden und 31 Minuten für die Länge des Tages im Campanium nachrechenbar. Eine Rückrechnung mit der in SD9 angegebenen Länge des (tropischen) Jahres – 31.558.153 Sekunden<sup>63</sup> – ergibt 371,8 Tage (Tab. 23; vs. 371,9 Tage, s. Tab. 22). Die Bildung des o. g. Quotienten ergibt 23 Stunden und 30,48 Minuten, sodass es sich wohl um eine Aufrundung handelt.

Pos.	Elemente	de Winter (2018); Pos. 1-7, 9	de Winter et al. (2020); Pos. 1-7, 9
1	Ergebnis: Länge des Tages im Campanium	23h 23 min	23h 31 min
2	- Minuten (angebrochene Stunde)	23	31
3	- Minuten (Pos. 2, Umrechnung in Stunden)	0,3833	0,5167
4	- Stunden (volle)	23	23
5	- Stunden gesamt	23,3833	23,5167
6	- Stunde in Sekunden	3600	3600
7	- Sekunden pro Tag	84180	84660
8	Rückrechnung Tage		
9	Länge tropisches Jahr (Sekunden)	31558153	31558153
10	Anzahl Tage im Campanium; Pos. 9 / Pos. 7 minus 1	373,9	371,8

**Tab. 23**Länge des Tages im Campanium I.

Daten von DE WINTER (2018) und DE WINTER et al. (2020).

Mit der Länge des tropischen Jahres – gerundet 3,16 x 10<sup>7</sup> Sekunden – hatte DE WINTER (2018, 191) bereits zuvor operiert. Die Differenz der ausgewiesenen Ergebnisse für die Länge des Tages im Campanium von 8 Minuten (Tab. 23, Pos. 1) macht in Summe 2,1 Tage pro Jahr aus (Tab. 23, Pos. 10). Allerdings sollen die 23 Stunden und 23 Minuten von DE WINTER (2018,

<sup>&</sup>lt;sup>61</sup> "From the number of days per year (372), we calculate that the length of a Campanian day was 8.5 X 10<sup>4</sup> s, or 23 hr and 31 min" (DE WINTER et al. 2020, 14)."

<sup>&</sup>lt;sup>62</sup> "The number of laminae per year is in close agreement with previous estimates of the number of days in a Late Cretaceous year based on independent counts of diurnal increments in various fossil taxa (Pannella, 1972: 375 days/year; Berry and Barker: 370.3 days/year) and calculations of tidal dissipation and the resulting deceleration of Earth's orbit (Laskar et al., 2004: 374.49 days/year; ocean model in Meyers & Malinverno, 2018 from Webb, 1982: ~375 days/year; Figure 7; results and explanation of estimates found in the literature are given in Appendix 1)" (DE WINTER et al. 2020, 14).

<sup>&</sup>lt;sup>63</sup> 31558153,08 s = (365,2564+1)\*86164,1 s (DE WINTER et al. 2020, SD9; mit Verweis auf Daten von LOWRIE 2007).

191) ebenfalls mit 372 Tagen korrespondieren (mit Verweis auf WILLIAMS 2000, LAMBECK 1980 und weiteren), nicht mit dem eigenen Ergebnis von 366 Tagen (ohne Unsicherheit).

Für eine weitere Irritation sorgt allerdings die Berechnung für die Länge des Tages im Campanium in Appendix 1 (S. 12). Hier wird die Berechnung für das Ergebnis von 23 Stunden und 23 Minuten (DE WINTER 2018, 191) dargelegt (Tab. 24) anstelle für die im Artikel ausgewiesenen 23 Stunden und 31 Minuten (DE WINTER et al. 2020). Die Kalkulation ist nachvollziehbar; es wird eine Gleichung von LASKAR (2004) zum "astronomischen Modell" verwendet – ohne jeglichen Input von DE WINTER. Als weiteres Ergebnis auf dieser Grundlage werden schließlich 374,49 Tage für die Anzahl der Tage pro Jahr im Campanium ausgewiesen; die Berechnungen erfolgten wohl einfach zum Vergleichen (s. Fußnote 62).

Berechnung Länge des Tages (LOD), nach Gleichung 41 in Laskar (2004)											
T (Zeit)	-0,07425	(Ga, also 74,25 Millionen [radiometri- sche] Jahre; für Campanium)		de Winter et al. (2020)	Anmerkung						
Gleichung (in Stunden)			Ergebnis	Appendix 1							
LOD =	23,934468		23,9344680	23,934468							
plus	7,432167	mal T	-0,5518384	-0,553696	Differenz						
minus	0,727046	mal T <sup>2</sup>	-0,0040083	-0,004008							
plus	0,409572	mal T <sup>3</sup>	-0,0001677	-0,000168							
minus	0,589692	mal T <sup>4</sup>	-0,0000179	-0,00000179	Differenz						
Summe			23,3784358	23,376594							

#### Tab. 24 Länge des Tages im Campanium II.

Daten von DE WINTER et al. (2020), ihre Appendix 1 (S. 12). 23,376594 Stunden entsprechen 23 Stunden und 22,6 (gerundet 23) Minuten. Mit der Länge des tropischen Jahres berechnen DE WINTER et al. (2020) schließlich noch die Anzahl der Tage im Campanium zu 374,49 Tagen. – Die kleinen Differenzen im Vergleich zur Berechnung des Verfassers sind wohl Kalkulationsfehler; sie betreffen erst die dritte Nachkommastelle. LASKAR (2004) betont ausdrücklich, dass ihre Gleichung 41 nur eine Annäherung ist. Diskussion s. Textteil.

Fazit: Das von DE WINTER et al. (2020, 14) präsentierte Ergebnis von 372 Laminen pro Jahr stimmt offensichtlich mit anderen Ergebnissen überein, die eine Anzahl der Tage pro Jahr für die Oberkreide liefern (Tab. 26). Die Ergebnisse werden in Abschnitt 3.6.1.7 diskutiert.

## 3.6.1.6 Zielgerichtete Produktion des Ergebnisses?

Ein Vergleich der Arbeiten von DE WINTER et al. (2017), DE WINTER (2018) und DE WINTER et al. (2020) zeigt (Tab. 25), dass der sog. "saisonale Zyklus" zwar durchgängig als Jahreszyklus interpretiert wird (Pos. 4), aber mit unterschiedlichen durchschnittlichen (Wachstums-) Perioden:  $\pm$  20 mm; 13,4  $\pm$  0,7 mm; 14,8  $\pm$  0,1 mm (Pos. 3). Mit der Bestimmung der Breite der "täglichen" Laminen (Pos. 7) wird ein Ergebnis "Laminen pro Jahr" (Pos. 8) ausgewiesen, welches im Falle von DE WINTER (2018) auch das Endergebnis für die Anzahl der "Tage pro Jahr im Campanium" darstellt: 366  $\pm$  28 Tage (Pos. 15). Dieses Endergebnis passt im Rahmen der Unsicherheit zu der Anzahl der "Tage pro Jahr in der Oberkreide" von 372  $\pm$  3 Tagen (Pos. 14), den DE WINTER (2018) aus anderen Publikationen (fossile Organismen, astronomisches Modell)

bestimmt hat. Numerisch (und optisch) wird der ausgewiesene Mittelwert von 366 Tagen wohl aber eher mit dem aktuellen Wert von 365,25 Tagen assoziiert werden.

Schließlich präsentieren DE WINTER et al. (2020) für die Anzahl der "Tage pro Jahr im Campanium" ein neues Endergebnis von 372 ± 8,4 Tagen (Pos. 15). Dieser Mittelwert von 372 Tagen ist nun identisch mit der zuvor vorgelegten Anzahl der "Tage pro Jahr in der Oberkreide" (Pos. 14). Die dargestellte Entwicklung lässt vermuten, dass eine zielgerichtete Produktion des Endergebnisses vorliegt. Dies zeigt sich auch darin, dass die optische Angabe zur "Breite der täglichen Laminen" angepasst bzw. verändert wird, von 30-40 µm auf ~40 µm (Pos. 6), wahrscheinlich um den spektralen Wert von 42,7 ± 0,34 µm zu unterstützen (Pos. 7), zuvor 36,5 ± 2,0 µm.

	Torreites sanchezi	Methode/	de Winter et al. (2017)	de Winter (2018, 185ff)		de Winter	r et al	. (2020)
Pos.	(Exemplar NHMM 2014 052)	Anmerkung	Wert	Wert	Wert SD Wert		SD	nach Korrek- tur
1	Profilabschnitt, rechte Schale	Messbereich	33-150 mm	33-180 mm		33-180 mm		
2	Profillänge		ca. 120 mm					
3	Periode "saisonaler Zyklus"	spektral	± 20 mm	13,4 ± 0,7 mm	1	14,8 ± 0,1 mm	1	
4	Interpretation "saisonaler Zyklus"		1 a	1 a		1 a		
5	Gesamtdauer Schalenwachstum	zu Pos.1	6 a			10 a		
6	Breite der "täglichen" Laminen	optisch		30-40 µm		~40 µm		
7	Breite der "täglichen" Laminen	spektral		36,5 ± 2,0 μm	1	42,7 ± 0,34 μm	1	
8	Laminen pro Jahr I	Pos. 3/Pos. 7		366 ± 28	?	346 ± 3,3	1	376 ± 3,6
9	Wachstumsunterbrechungen	fehlende Laminen		kaum		ja, 8 % fehlen		
10	Laminen pro Jahr II ("visuell")	Lagenzählung		338 ± 20	?	338 ± 20	1	367 ± 22
11	Laminen pro Jahr II (Maximum)	Abzählung		362		k. A.		
12	Laminen pro Jahr III ("chemisch")	Altersmodell/ Lagenzählung						373 ± 12
13	Länge des Tages im Campanium	Sekunden		8,4 x 10 <sup>4</sup> s		8,5 x 10 <sup>4</sup> s		
14	Tage pro Jahr späte Kreide (astron. Modell; Lambeck 1980)	Anzahl		372 ± 3				
15	Tage pro Jahr im Campanium	Anzahl		366 ± 28		372 ± 8,4		
	Ergebnis (Abstract)							
16	Tage pro Jahr im Campanium	Anzahl		366 ± 28		372		
17	Länge des Tages im Campanium	Stunden		23 h 23 min				
18	Tägliche Wachstumsinkremente	Dicke		± 36 µm		~40 µm		

Tab. 25 Vergleich der Ergebnisse.

Es werden die Arbeiten von DE WINTER et al. (2017), DE WINTER (2018) und DE WINTER et al. (2020) verglichen; Diskussion siehe Textteil. SD, Standardabweichung.

### 3.6.1.7 Fazit

Von DE WINTER et al. (2020) ist an einen Exemplar von *T. sanchezi* nicht der Nachweis darüber erbracht worden, dass die Tage im Campanium (Oberkreide) kürzer waren (s. o.): Die

ausgewiesenen Ergebnisse – Tage pro Jahr oder Stunden pro Tag – unterscheiden sich im Rahmen der ausgewiesenen Unsicherheit (relativ 2,3 %) nicht vom heutigen Wert.

Nach Analyse des von DE WINTER et al. (2020) zur Verfügung gestellten Datenmaterials wird zusammenfassend festgestellt.

- Die ausgewiesene Unsicherheit ist zu gering. Sie müsste etwa das 3-Fache betragen.
- Die ausgewiesenen Ergebnisse von 372 Tagen f
  ür das campanische Jahr bzw. von 23 Stunden und 31 Minuten f
  ür die L
  änge des campanischen Tages (ohne Unsicherheiten) sind spektralanalytisch und rechnerisch nicht nachvollzieh- bzw. nachrechenbar, folglich auch nicht reproduzierbar.
- Ein Vergleich der Arbeiten von DE WINTER et al. (2017), DE WINTER (2018) und DE WINTER et al. (2020) zeigt, dass bei DE WINTER et al. (2020) wahrscheinlich eine zielgerichtete Produktion auf ein Endergebnis hin – 372 Tage für das campanische Jahr – vorliegt. Die verwendeten Vergleichswerte führt Tab. 26 auf.

Pos.	Jahresinkremente; Modelle für das Erde-Mond-System	Referenz	Anzahl Tage pro Jahr für die Oberkreide; Angabe/Berechnung von de Winter et al. (2020)	diese Arbeit
1	Abzählung an Muscheln	а	370,3	
2	Abzählung an Muscheln	b	375	
3	"astronomisches Modell"	с	374,49	373,96
4	"konstantes Dissipationsmodell"	d	375	375,7
5	"Ozean-Modell"	е	k. A.	374,2
6	Mischkalkulation (Fossilien, Gezeitendissipation)	f	372 ± 3 (de Winter 2018, 191)	

Tab. 26 Tage pro Jahr in der Oberkreide, Vergleich.

Angaben aus Hauptteil von DE WINTER et al. (2020, 14); Berechnung zu Pos. 3 in ihrem Appendix 1. Diese Arbeit: Aus SD9 ausgelesen (Pos. 3) oder interpoliert (Pos. 4 und 5). Referenz: a) BERRY & BARKER (1968); b) PANNELLA (1972a); c) LASKAR et al. (2004); d) MEYERS & MALINVERNO (2018); e) BILLS & RAY (1999); f) mit Verweis auf WILLIAMS (2000), BERRY & BARKER (1968), WELLS (1963), RUNCORN (1968), PANNELLA (1972a) sowie LAMBECK (1980) und WAHR (1988). Zu Pos. 6: Die Kalkulation wird nicht dargelegt.

Des Weiteren ist anzumerken, dass DE WINTER et al. (2020) die "von Bioarchiven geschätzten Längen des Tages für das Phanerozoikum" (ihre Fig. 7) unkritisch von WILLIAMS (2000) übernehmen (Wiedergabe s. Abb. 9). Dies gilt unmittelbar für die Werte der Oberkreide, ihre "Zielgröße", die optisch mit ihren Schätzwerten (3 Methoden) clustern, als auch mittelbar für den Rest des Phanerozoikums, wo die meisten Werte im Korridor der präsentierten astronomischen Modelle liegen (s. auch Tab. 26).

# 4 Versuch einer Harmonisierung astronomischer und geophysikalischer Zeit-Deduktionen mit "paläontologischen Chronometern"

# 4.1 Ansinnen und Methodik von Wells (1963)

WELLS (1963) stellt fest, dass es keine Möglichkeiten gibt, "absolute, auf Radioaktivität basierende Altersbestimmungen" durch unabhängige Methoden zu bestätigen oder zurückzuweisen – also zu falsifizieren. Dies nennt er das "Problem der Geochronometrie".

Zur Lösung des Problems konstruiert er eine Beziehung zwischen der Anzahl der Tage pro Jahr und geologischer Zeit (seine Fig. 1, Abb. 1). Bei der Anzahl der Tage pro Jahr handelt es sich um eine astronomische Zeit-Deduktion, einer theoretischen Rückrechnung auf der Grundlage einer empirisch ermittelten Abbremsung der Erdrotation (2 ms/100 a). Bei den Alterswerten der geologischen Zeit handelt es sich um geophysikalische Zeit-Deduktionen, die auf aktuelle Beobachtungen zur Radioaktivität beruhen. Kann die Anzahl der Tage pro Jahr auf unabhängige Weise ermittelt werden und stimmt sie mit den astronomischen Rückrechnungen zur jeweiligen geologischen Zeit überein, dann sind beide Methoden der Zeit-Deduktion in Harmonie. Das will WELLS (1963) mit den "paläontologischen Chronometern" zeigen.

Methodisch fordert WELLS (1963) drei "Glaubensakte" (act of faith):

- Die Akzeptanz der Alterswerte zur geologischen Zeit auf der Grundlage des radioaktiven Zerfalls.<sup>64</sup>
- Die Akzeptanz der Beziehung zwischen der Anzahl der Tage pro Jahr und geologischer Zeit (seine Fig. 1, Abb. 1).<sup>65</sup>
- Die größeren Ringbildungen (major annulations) an Korallen repräsentieren j\u00e4hrliche Wachstumsinkremente.<sup>66</sup>

Es ist bemerkenswert, dass WELLS (1963) in einem geowissenschaftlichen Fachartikel mehrmals den Begriff "Glaubensakt" verwendet. Er hätte auch einfach von Annahmen schreiben können. Er macht dadurch wohl deutlich, vielleicht auch auf eine leicht ironische Weise, dass – zumindest in diesem Fall – Annahmen nichts anderes als Glaubensakte sind.

Wie in Abschnitt 3.1.1 dargelegt, kann WELLS (1963) der gestellten Aussicht einer Harmonie von astronomischer und geophysikalischer Zeit-Deduktionen nicht gerecht werden. Er kann nicht zeigen, dass seine Abgrenzungen von "jährlichen Wachstumsinkrementen" (prominente horizontale Runzeln, seine Fig. 2) tatsächlich auch Jahren entsprechen. Und er kann nicht zeigen, dass seine "täglichen Wachstumsinkremente" tatsächlich Tagen entsprechen – ohne

<sup>&</sup>lt;sup>64</sup> "To accept these figures is an act of faith that few would have the temerity to refuse to make" (WELLS 1963, 949).

<sup>&</sup>lt;sup>65</sup> "After the first, a second act of faith is easy, and we can develop a simple relation between the geological time-scale and the number of days per year (Fig. 1). Accepting this relation, in the absence of evidence to the contrary, (...)" (WELLS 1963, 949).

<sup>&</sup>lt;sup>66</sup> "We must now make an act of faith and assume that the major annulations on corals re-present annual growth increments or varves" (WELLS 1963, 950).

jedwede Einschränkung (Wachstumsunterbrechungen, Bildungen von mehr als einem Inkrement pro Tag).

# 4.2 "Kürzere Tage" als Tatsache

Eine Rückschau macht deutlich, dass sich bereits in den 1970er-Jahren eine Transformation von einer Hypothese zu einer Tatsache im Vollzug befand.<sup>67</sup>

KRÖMMELBEIN (1976, 9) schreibt in *Brinkmanns Abriß der Geologie* (Teil II): "Interessant ist der Versuch von WELLS (1963), aus der Anzahl der Jahres- und Tages-Zuwachsringe bei fossilen Korallen auf die verschieden große Anzahl der Tage pro Jahr der verschiedenen Erdzeitalter zu schließen. Die Werte stimmen überein mit der geophysikalischen Vorstellung, wonach durch Gezeiten-Reibung die Länge des Tages zunimmt und damit die Anzahl der Tage pro Jahr im Lauf der Erdgeschichte abnimmt. Devonische Korallen haben um 396, silurische um 402 Tagesringe; diese Werte fügen sich gut ein zwischen 365 Tagen (heute) und 424 Tagen für das Kambrium. Danach wären Datierungen auch durch Abzählen der Jahrringe möglich." Hier liegt quasi eine Tatsachen-Aussage vor: "Devonische Korallen haben (…)."

Ähnlich verfasst KRUMBIEGEL (1981, 285) in *Die Entwicklungsgeschichte der Erde*, wobei er sich wohl an den Wortlaut von KRÖMMELBEIN (1976; s. o.) orientiert hat.<sup>68</sup>

In dem populärwissenschaftlichen Buch *Der Urzeit auf der Spur* führt HALSTEAD (1991, 59) aus: "Eine sehr interessante Entdeckung haben in jüngster Vergangenheit der englische Paläontologe Colin SCRUTTON und seine Mitarbeiter gemacht. Korallen lagern täglich eine dünne Kalklage ihres Skeletts ab. Die Folge dieser Tageslamellen läßt Monats- und Jahreszyklen erkennen. SCRUTTON und seine Mitarbeiter haben diese Zyklen bei guterhaltenen fossilen Korallen ausgezählt. Überraschend ist das daraus gewonnene Ergebnis, daß vor rund 400 Millionen Jahren der Mond länger, nämlich 30 Tage, für einen Umlauf um die Erde brauchte. [Absatz] Noch erstaunlicher war die Feststellung, daß vor rund 570 Millionen Jahren, d. h. etwa zu Beginn des Kambriums, das Jahr 428 Tage umfaßte und daß vor ungefähr 400 Millionen Jahren, also im Silur, ein Jahr 385 bis 405 Tage hatte. Die Astronomen hatten schon früher vermutet, daß sich infolge der Gezeitenreibung die Erdumdrehung verlangsamt haben könnte, und zwar um 0,0016 sec. in 100 Jahren. Der an den Korallen geführte Nachweis einer Zunahme der Tageslänge im Verlaufe der Erdgeschichte bestätigt diese Berechnungen." HALSTEAD (1991) nun behauptet, dass ein "Nachweis" erbracht worden sei. Das ist aber nicht der Fall; es handelt sich wohl um eine unkritische, fehlerhafte Aufnahme der Daten bzw. Datenpräsentation.

Dieser Fehler von HALSTEAD (1991) pflanzt sich fort. Zum Beispiel erklärt LÖTHER<sup>69</sup> (2004, 78): "Auch bei Fossilien zeichnen sich Spuren periodischer Lebensvorgänge ab. Sie ermöglichen

<sup>&</sup>lt;sup>67</sup> Zur Analyse des Transformationsprozesses siehe LATOUR & WOOLGAR (1986).

<sup>&</sup>lt;sup>68</sup> "Zuwachszonen an Hartteilen von Tieren sind ebenfalls chronologisch auswertbar. Z. B. Muschel-, Brachiopodenschalen, Korallen, Fischschuppen, Otolithen. In den meisten Fällen handelt es sich um Jahres- und Tages-Zuwachsringe, aus denen man auf eine unterschiedlich große Anzahl der Tage im Jahr in den verschiedenen Erdzeitaltern schließen kann. Devonische Tetrakorallen haben 396, silurische um 402 Tagesringe. Diese Werte passen sich ein zwischen derzeit 365 Tage/Jahr und 424 Tage/Jahr im Kambrium" (KRUMBIEGEL 1981, 285).

<sup>&</sup>lt;sup>69</sup> Rolf LÖTHER (1933–2020), Wissenschaftsphilosoph und Wissenschaftshistoriker.

ihrerseits Rückschlüsse auf ihre Umwelten, z. B. Wachstumsringe von Bäumen auf Witterung und Klima. Korallen lagern täglich eine dünne Kalkschicht ihres Skeletts ab. Die Folge dieser Tageslamellen lässt Monats- und Jahreszyklen erkennen. Colin Scrutton und seine Mitarbeiter haben diese Zyklen bei guterhaltenen fossilen Korallen ausgezählt. ,Überraschend ist das daraus gewonnene Ergebnis, dass vor rund 400 Millionen Jahren der Mond länger, nämlich 30 Tage, für einen Umlauf um die Erde brauchte', resümiert Lambert B. Halstead die Ergebnisse dieser Untersuchungen. [Fußnote 21] ,Noch erstaunlicher (...) Der an den Korallen geführte Nachweis einer Zunahme der Tageslänge im Verlaufe der Erdgeschichte bestätigt diese Berechnungen.' [Zitat s. o. HALSTEAD 1991]. [Absatz] Mit der Historizität von Tag und Jahr haben auch circadiane und circannuale Biorhythmen eine historische Dimension. (...)."

In der Fachzeitschrift *Nature* berufen sich Autoren mit Bezug auf eine Langzeit-Evidenz für ein Zurückweichen des Mondes auf fossile Korallen und Weichtiere; so WALKER & ZAHNLE (1986, 600): "Evidence for the rate of lunar recession is available on several different timescales. As these matters have been discussed elsewhere [Referenzen 1, 14, 15; LAMBECK (1980), BROSCHE & SÜNDERMANN (eds.) (1978), BROSCHE & SÜNDERMANN (eds.) (1982)], we shall discuss them only briefly here. (...) The most important source of long-term information derives from fossil corals and molluscs [Referenzen 1, 17; LAMBECK (1980), SCRUTTON (1978)]." In ihrer Abbildung 1 (Fig. 1) werden die phanerozoischen Wertepaare als "paläontologische Daten" ausgewiesen, nicht als interpretierte Werte. Ähnlich formulieren BERGER & LOUTRE (1994, 18).<sup>70</sup>

LASKAR (2020, 152) dagegen – Jahrzehnte später – äußerst sich zu den Daten und Praktiken von damals kritisch (in Übersetzung): "Dennoch ist hervorzuheben, dass die meisten dieser Daten mit großen Unsicherheiten behaftet sind, die nicht immer geschätzt sind. Es ist sicherlich erforderlich, dass diese Daten oder andere gleichwertige Daten mit klaren, aktualisierten Methodologien und Verfahren erneut analysiert werden. Des Weiteren sollten alle Rohdaten öffentlich zugänglich gemacht werden."<sup>71</sup>

<sup>&</sup>lt;sup>70</sup> "Indeed, evidence for the rate of lunar recession is available on several different timescales: the most important source of long-term information derives from fossil corals, bivalves and stromatolites which have recorded astronomical cycles in their growth rhythms (Lambeck, 1980). Historical records of eclipses and other astronomical phenomena give information over the past few millenia (Stephenson, 1972). More recently, the lunar orbit and the rotation of the Earth have been monitored by lunar laser ranging (Calame & Mulholland, 1978)." Für ihre Rückwärtsintegration bzw. -interpolation bis 590 Millionen Jahre vor heute setzen BERGER & LOUTRE (1994, 22) für das Zurückweichen des Mondes einen Wert von 3,16 cm pro Jahr an, den [damals] aktuellen, gemittelten Wert aus der Laserentfernungsmessung LLR).

<sup>&</sup>lt;sup>71</sup> LASKAR (2020, 152): "There are numerous estimates of the past rotational state of the Earth, obtained from various indicators such as bivalves, corals, stromatolites, or tidal deposits. These records have been compiled in several publications (e.g., Lambeck, 1980; Williams, 2000) (Fig. 4.13)." Und weiter: "It should nevertheless be stressed that most of these data suffer from large uncertainties that are not always estimated. It is certainly needed that these data or other equivalent data are reanalyzed using clear, updated, methodologies, and procedures. All raw data should further be made publicly available."

# 4.3 Moderne Wissenschaftskommunikation

Die eingangs zitierte Pressemitteilung der Amerikanischen Geophysikalischen Gesellschaft (AGU)<sup>72</sup> vom 9. März 2020 zu dem Fachartikel von DE WINTER et al. (2020) trägt die Überschrift (in Übersetzung) Uralte Muschelschale zeigt, dass die Tage vor 70 Millionen Jahren eine halbe Stunde kürzer waren. Die Mitteilung entfaltet die gewünschte Wirkung: Zahlreiche Medien in den USA und im Ausland berichten über die Arbeit und die Ergebnisse, mitunter unter Bezugnahme auf die Pressemitteilung und/oder die Originalarbeit. Die folgende Aufstellung zeigt einige davon, insbesondere deutschsprachige:<sup>73</sup>

- "Tage der Dinosaurier waren 30 Minuten k
  ürzer Erde drehte sich vor 70 Millionen Jahren noch 372 Mal im Jahr ums sich selbst" (PODBREGAR 2020; scinexx.de).
- "Dinosaurier hatten 372-Tage-Jahr" (Dönges 2020; spektrum.de).
- "Muschel-Analyse Tage waren früher kürzer" (Deutschlandfunk Nova 2020; deutschlandfunknova.de).
- "Schnellere Erdrotation Zu Dino-Zeiten waren Tage eine halbe Stunde kürzer" (SEIDLER 2020; spiegel.de/wissenschaft).
- "Erdrotation Für Dinosaurier waren die Tage kürzer" (Schlumm 2020; derstandard.de).
- "Als das Jahr noch 372 Tage hatte" (Lossau 2021; welt.de/wissenschaft).
- "In Earth's early history, a day was 23.5 hours and a year lasted 372 days" (STRICKLAND 2020; edition.cnn.com).
- "Days were a half-hour shorter when dinosaurs roamed the Earth 70 million years ago" (RICE 2020; eu.usatoday.com).

Schließlich kann DE WINTER (2021) vermelden, dass ihr Fachartikel zu den am häufigsten heruntergeladenen Artikeln (Top 10) der *AGU*-Website im Jahr 2020 zählte.



Abb. 8 Twitter-Kommunikation.

Screenshot des Twitter-Posts von Niels DE WINTER vom 20. Juli 2021; Zugriff Dezember 2021.

Allen aufgeführten Online-Artikeln ist gemein, dass ihre Überschriften aus faktischen Aussagen bestehen, also einer Wiedergabe von Tatsachen. Dies setzt sich auch durchweg im Textteil fort. Dies mag einerseits der Pressemitteilung geschuldet sein, die den Tatsachen-Modus quasi vorgibt, aber auch andererseits daran, dass die Meldung an die Leserschaft, der interessierten Öffentlichkeit, einfach – womöglich mit einer individuellen Note des Journalisten – "durchgereicht" wird. Die Gründe hierfür sind vielfältig: Konkurrenz; Zeitmangel; Fokus auf Kommunikation, nicht auf kritischer Prüfung; Vertrauen in Wissenschaft im Allgemeinen. Schließlich haben auch die Autoren des Fachartikels ihren Anteil daran.

<sup>&</sup>lt;sup>72</sup> Die AGU ist Herausgeberin der Fachzeitschrift *Paleoceanography and Paleoclimatology*.

<sup>&</sup>lt;sup>73</sup> Siehe auch https://www.altmetric.com/details/76067775.

Im Vergleich zu früheren Jahrzehnten (s. o. Abschnitt 4.2) erfolgt heutzutage durch die Medien eine weitaus schnellere und intensivere Transformation der Hypothese zu einer Tatsache. Diese Situation ist folgenschwer. Einerseits ist im vorliegenden Fall der erforderliche Nachweis nicht erbracht (s. Abschnitt 3.6.1) – es handelt sich somit schließlich schlichtweg um Falschmeldungen –, andererseits ist eine Korrektur der entstandenen Tatsachen-Lage, selbst in der Fach-Öffentlichkeit, quasi unmöglich.

# 4.4 Keine Verifizierung der geologischen Zeitskala, keine Verifizierung des astronomischen Modells

Es gilt abschließend herauszustellen, dass weder WELLS noch die anderen Bearbeiter nach ihm einen Nachweis darüber erbracht haben, dass die Tage vorzeiten (Phanerozoikum) kürzer als heute waren bzw. dass die Anzahl der Tage pro Jahr höher als heute war (s. Kapitel 3).





Geschätzte Werte von Bioarchiven in Beziehung zu den Modellen des Erde-Mond-Systems. Schwarze Symbole stellen die verschiedenen Bioarchive dar (nach WILLIAMS 2000). Zu den Modellen s. Tab. 26. Wiedergabe von Figure 7 aus DE WINTER et al. (2020) in *Paleoceanography and Paleoclimatology*. – Referenzen, nach WILLIAMS (2000, mit Verweis auf Scrutton 1978); von links nach rechts, nach Tage pro Jahr: Stromatolithe: ca. 410, McGugan (1968); ca. 415, Mazzullo (1971). Brachiopoden & Bivalven (Muscheln): ca. 406/398/383/372/375/359, Pannella (1972); ca. 370, Berry & Barker (1968). Korallen: ca. 421/410, Mazzullo (1971); ca. 412/400/398/384, Wells (1970). Die vertikalen Spannweitenlinien der schwarzen Symbole geben Einzelergebnisse wieder (Korallen u. Stromatolithe); bei Brachiopoden & Bivalven ist unklar, woher WILLIAMS (2000) die Spannweitenwerte entnahm (s. Original-Publikationen) bzw. was sie bedeuten. Möglicherweise handelt es sich um abgeleitete Standardabweichungen.

Folglich sind bis dato alle Versuche gescheitert, mit paläontologischem Datenmaterial die radiometrische Datierung (bzw. geologische Zeitskala) oder die astronomische Theorie zu verifizieren bzw. zu validieren.<sup>74</sup>

Bezeichnend für diese Versuche sind insbesondere Darstellungen wie Figure 7 aus DE WIN-TER et al. (2020), hier Abb. 9. Danach werden die "geschätzten Werte von Bioarchiven in Beziehung zu den Modellen des Erde-Mond-Systems gesetzt", unter Zugrundelegung der radiometrisch geeichten geologischen Zeitskala. Solch eine Darstellung harmonisiert astronomische und geophysikalische Zeit-Deduktionen mit "paläontologischen Chronometern", obwohl offensichtlich ist, dass diese "paläontologischen Chronometer" in der gewünschten Weise gar nicht existieren. DE WINTER et al. (2020) haben in diesem Fall die Werte für verschiedenen Bioarchive einfach unkritisch von WILLIAMS (2000) übernommen.

Auf die eingangs gestellte Frage wird hiermit konkret geantwortet: Der "Zusammenhang zwischen dem Skelettwachstum fossiler Organismen, der Rotationsrate der Erde und der Eichung der chronostratigraphischen Tabelle mit radiometrischen Alterswerten" ist gemacht (ein "Making-of") – er besteht nach derzeitiger Datenlage nicht.

# 5 Zusammenfassung

- (1a) WELLS (1963) präsentiert der Wissenschaftsgemeinde erstmals einen Zusammenhang von Wachstumslinien mitteldevonischer und oberkarbonischer rugoser Korallen, Isotopenalter der Geophysiker und astronomische Schätzungen zur Anzahl der Tage in der geologischen Vergangenheit. Danach stimmen die an den Korallen ermittelten "Tage pro Jahr" – Mitteldevon 400, Oberkarbon 385-390 – mit den astronomischen Rückrechnungen überein. Diese Resultate implizieren, so WELLS (1963), "dass im Verlauf der Zeit die Anzahl der Tage seit dem Devon abgenommen haben – so wie es Astronomen postulierten – und daher die Isotopenalter der Geophysiker gut mit den astronomischen Schätzungen über das Alter der Erde übereinstimmen".
- (1b) WELLS (1963) kann allerdings nicht aufzeigen, dass seine Abgrenzungen von "jährlichen Wachstumsinkrementen" tatsächlich auch Jahren entsprechen. So sind seine Daten und Ergebnisse eigentlich wertlos. Dennoch werden sie und insbesondere seine Idee von zahlreichen Wissenschaftlern aufgegriffen.
- (2) In den Folgejahren bis etwa 1976 werden weitere paläontologische Arbeiten mit gleicher oder ähnlicher Aufgabenstellung veröffentlicht: Der Ermittlung der täglichen Wachstumsinkremente pro Jahr oder der täglichen Wachstumsinkremente pro (synodischen) Monat oder der täglichen Wachstumsinkremente pro 14-tägigen Gezeitenrhythmus – jeweils im Verlauf der geologischen Zeit. Gegenstand der Untersuchungen sind neben Korallen hauptsächlich Muscheln. Allerdings kann in keinem Fall der Nachweis erbracht werden, dass es sich tatsächlich und ausschließlich um

<sup>&</sup>lt;sup>74</sup> Zur Verifizierung der paläozoischen Zeitskala s. KOTULLA (2020).

tägliche Wachstumsinkremente handelt und ihre Bildung kontinuierlich erfolgte, also beispielsweise ohne Unterbrechung.

- (3a) Weder in der Arbeit von WELLS (1963) noch in den Folgearbeiten von beispielsweise PANNELLA (1972, 1975) oder SCRUTTON (1965, 1970, 1978) ist ein Nachweis darüber erbracht worden, dass die Tage vorzeiten (Phanerozoikum) kürzer als heute waren bzw. dass die Anzahl der Tage pro Jahr höher als heute war.
- (3b) Dennoch (mit Bezug auf Punkt 3a) werden die publizierten Daten von zahlreichen Fachautoren unkritisch aufgenommen und quasi als Tatsache – und damit fehlerhaft – weitergegeben (vgl. z. B. KRÖMMELBEIN 1976, KRUMBIEGEL 1981). HALSTEAD (1991) beispielsweise schreibt von einem "an den Korallen geführten Nachweis". Es handelt sich um einen Fall einer Transformation von einer Hypothese zu einer Tatsache, der – auf Basis der Datenlage – wissenschaftlich-methodisch fragwürdig oder gar unzulässig ist.
- (4a) DE WINTER et al. (2020) liefern nach einem Stillstand von über vier Jahrzehnten eine Studie über eine oberkretazische Rudistenschale (*T. sanchezi*), an welcher sie 372 tägliche Laminen pro Jahr bestimmten. Dies demonstriere, so DE WINTER et al. (2020), dass die Länge des Tages seit der späten Kreide zugenommen habe, wie es von astronomischen Modellen vorausgesagt wird. Der Unterschied zu den Arbeiten der 1960er- und 1970er-Jahre ist, dass die Wissenschaftler zur Identifikation täglicher und saisonaler Periodizitäten die spektrale Analyse auf hochauflösende Spurenelement-Aufzeichnungen im Mikrometer-Bereich und Isotopen-Aufzeichnungen im Submillimeter-Bereich anwenden.
- (4b) Das ungekürzte Ergebnis von DE WINTER et al. (2020) von 372 ± 8,4 Tagen für das campanische Jahr (Oberkreide) ist unter Berücksichtigung der Unsicherheit (8,4 Tage) nicht von dem heutigen Wert von 365,25 Tagen pro Jahr unterscheidbar. Dies gilt entsprechend für die ausgewiesene Länge des campanischen Tages von 23 Stunden und 31 Minuten, wenn die Unsicherheit (relativ 2,3 %) berücksichtigt wird. Insofern ist mit dem einen Exemplar von *T. sanchezi* nicht der Nachweis darüber erbracht worden, dass die Tage im Campanium kürzer waren.
- (4c) Nach Analyse des von DE WINTER et al. (2020) zur Verfügung gestellten Datenmaterials wird zusammenfassend festgestellt: Die ausgewiesene Unsicherheit ist zu gering. Sie müsste etwa das 3-Fache betragen. Die ausgewiesenen Ergebnisse von 372 Tagen für das campanische Jahr bzw. von 23 Stunden und 31 Minuten für die Länge des campanischen Tages (ohne Unsicherheiten) sind spektralanalytisch und rechnerisch nicht nachvollzieh- bzw. nachrechenbar, folglich auch nicht reproduzierbar.
- (5) Anhand des Fachartikels von DE WINTER et al. (2020) kann die moderne Wissenschaftskommunikation geologischer und paläontologischer Themen beobachtet und analysiert werden (Kapitel 4.3). In diesem Fall erfolgte durch die Medien eine schnelle und intensive Transformation der Hypothese zu einer Tatsache (s. Punkt 3); sie gelangt direkt zum Verbraucher, der interessierten Öffentlichkeit. Sie drückt sich zunächst in

den Überschriften aus, die aus faktischen Aussagen bestehen, und setzt sich im Textteil so fort. Diese Situation ist folgenschwer. Einerseits ist der erforderliche Nachweis nicht erbracht (s. Abschnitt 3.6.1) – es handelt sich somit schließlich schlichtweg um Falschmeldungen –, andererseits ist eine Korrektur der entstandenen Tatsachen-Lage quasi unmöglich.

- (6) Es gilt abschließend herauszustellen, dass weder WELLS noch die anderen Bearbeiter nach ihm einen Nachweis darüber erbracht haben, dass die Tage vorzeiten (Phanerozoikum) kürzer als heute waren bzw. dass die Anzahl der Tage pro Jahr höher als heute war (s. Kapitel 3).
- (7) Folglich sind bis dato alle Versuche gescheitert, mit paläontologischem Datenmaterial die radiometrische Datierung (bzw. geologische Zeitskala) oder die astronomische Theorie zu verifizieren bzw. zu validieren.







Messungen an einem Längsschnitt eines Exemplars von *Torreites Sanchezi*; Wachstumsrichtung von links nach rechts. a)  $\delta^{13}$ C-Datenreihe. b)  $\delta^{18}$ O-Datenreihe. Die Probenabstände sind zuvor von DE WINTER et al. (2020) auf gleichmäßige 0,5-mm-Abstände korrigiert/vereinheitlicht worden. – Punkt-/Liniendarstellung, n = 310. Daten von DE WINTER et al. (2020); Datei: Supplementary\_Data\_1\_chemical\_results.xlsx (SD1).





a) Modellierte Wertereihe  $\delta^{13}$ C. b) Modellierte Wertereihe  $\delta^{18}$ O. Rohdatenreihe s. Abb. 10. – Punkt-/Liniendarstellung, n = 295. Nach Daten von DE WINTER et al. (2020); Datei: Supplementary\_Data\_3\_Bandpass-results.xlsx (SD3).





a) Lomb-Periodogramm der Rohdatenreihe  $\delta^{13}$ C: Peaks bei [0,009348]/[0,01785]/0,06038/0,07308 Zyklen/mm, entsprechen Perioden von [107,0]/[56,02]/16,56/13,68 mm. b) Lomb-Periodogramm der Rohdatenreihe  $\delta^{18}$ O: Peaks bei [0,01700]/[0,02550]/[0,03399]/[0,04334]/0,06038/0,07478 Zyklen/mm, entsprechen Perioden von [58,82]/[39,22]/[29,42]/[23,07]/16,56/13,37 mm. c) Lomb-Periodogramm der modellierten Wertereihe  $\delta^{13}$ C: Peaks bei 0,06037/0,07228 Zyklen/mm, entsprechen Perioden von 16,56/13,84 mm. d) Lomb-Periodogramm der modellierten Wertereihe  $\delta^{18}$ O: Peaks bei [0,04337]/0,06027/0,07143 Zyklen/mm, entsprechen Perioden von [23,06]/16,56/14,00 mm; [] fraglich. e) Multitaper-Spektrogramm der modellierten Wertereihe  $\delta^{13}$ C: Peaks bei 0,02832/(0,03418) Zyklen/0,5 mm, entsprechen Perioden von 17,66/(14,63) mm. f) Multitaper-Spektrogramm der modellierten Wertereihe  $\delta^{18}$ O: Peak bei 0,03027 Zyklen/0,5 mm, entspricht einer Periode von 16,52 mm. – Rote Linien: Signifikanz-Level von 95/99 % ( $\alpha = 0,05/0,01$ ); Power: relative Varianz; Anzahl "taper": 5; Werte in []: Harmonische. Daten von DE WINTER et al. (2020); Dateien: Supplementary\_Data\_1\_chemical\_results.xlsx (SD1); Supplementary\_Data\_3\_Bandpass-results.xlsx (SD3).



**Abb. 13** Powerspektren der Wertereihen  $\delta^{13}$ C und  $\delta^{18}$ O, Ausschnitt a) Lomb-Periodogramm der Rohdatenreihe  $\delta^{13}$ C (Abschnitt 80,24–180,33 mm): Peaks bei 0,05870/0,07368 Zyklen/mm, entsprechen Perioden von 17,04/13,57 mm. b) Lomb-Periodogramm der Rohdatenreihe  $\delta^{18}$ O (Abschnitt 80,24–180,33 mm): Peaks bei [0,02997]/0,05995/0,07368 Zyklen/mm, entsprechen Perioden von [33,37]/16,68/13,57 mm. – Rote Linien: Signifikanz-Level von 95/99 % ( $\alpha$  = 0,05/0,01); Power: relative Varianz; Werte in []: Harmonische. Daten von DE WINTER et al. (2020); Datei: Supplementary\_Data\_1\_chemical\_results.xlsx (SD1).





a) Lomb-Periodogramm der Rohdatenreihe Mg/Ca [mmol/mol], "long record" (n = 12443): Peaks bei [0,009499]/[0,018999]/[0,028498]/[0,037048]/[0,046547]/0,061746/0,086445 Zyklen/mm, entsprechen Perioden von [110,83]/[52,63]/[35,09]/[26,99]/[21,48]/16,20/11,57 mm. b) Lomb-Periodogramm der Rohdatenreihe Mg/Li [mol/mol], "long record" (n = 12167): Peaks (> 100) bei [0,02375]/[0,0361]/0,0627/0,0931 Zyklen/mm, entsprechen Perioden von [42,11]/[27,70]/15,95/10,74 mm. – Rote Linien: Signifikanz-Level von 95/99 % ( $\alpha$  = 0,05/0,01); Power: relative Varianz; Werte in []: Harmonische. Daten von DE WINTER et al. (2020); Datei: Supplementary\_Data\_1\_chemical\_results.xlsx (SD1).





a)/b) Lomb-Periodogramme der Rohdatenreihen Mg/Ca [mmol/mol], "long record" (n = 12443), sowie Mg/Li [mol/mol], "long record" (n = 12167): Darstellung des gesamten Spektrums mit zahlreichen Peaks oberhalb des Signifikanz-Levels von 95 %. – Rote Linien: Signifikanz-Level von 95/99 % ( $\alpha$  = 0,05/0,01); Power: relative Varianz. Daten von DE WINTER et al. (2020); Datei: Supplementary\_Data\_1\_chemical\_results.xlsx (SD1).



Abb. 16 Powerspektren der Wertereihen Sr/Ca und Sr/Li, Lang-I.

a) Lomb-Periodogramm der Rohdatenreihe Sr/Ca [mmol/mol], "long record" (n = 12535): Peaks (> 100) bei [0,010449]/[0,040847]/0,051297/0,067446/0,084545/0,094044 Zyklen/mm, entsprechen Perioden von [95,70]/[24,48]/19,49/14,82/11,83/10,63 mm. b) Lomb-Periodogramm der Rohdatenreihe Sr/Li [mol/mol], "long record" (n = 12322): Peaks (> 110) bei [0,02375]/0,0646/0,09405 Zyklen/mm, entsprechen Perioden von [42,11]/15,48/10,63 mm. – Rote Linien: Signifikanz-Level von 95/99 % ( $\alpha$  = 0,05/0,01); Power: relative Varianz; Werte in []: Harmonische. Daten von DE WINTER et al. (2020); Datei: Supplementary\_Data\_1\_chemical\_results.xlsx (SD1).





a)/b) Lomb-Periodogramme der Rohdatenreihen Sr/Ca [mmol/mol], "long record" (n = 12535), sowie Sr/Li [mol/mol], "long record" (n = 12322): Darstellung des gesamten Spektrums mit zahlreichen Peaks oberhalb des Signifikanz-Levels von 95 %. – Rote Linien: Signifikanz-Level von 95/99 % ( $\alpha$  = 0,05/0,01); Power: relative Varianz. Daten von DE WINTER et al. (2020); Datei: Supplementary\_Data\_1\_chemical\_results.xlsx (SD1).

		de Winter et al. (2020)	diese Arl	beit					
Pos.	Modellierte Werte- reihe (SD3)	Periode [um]				(aus	Periode gelesen	[µm], aus SD5	i)
		(SD5)	Ø	SD	SEM	1	2	3	4
1	alle vier, Mittelwert	42,7 ± 0,34							
2a	Ma/Co	kΛ				39,98		11 52	27.05
2b	Mg/Ca K. A.				43,87		44,52	57,05	
3	Mg/Li	k. A.				43,22	38,75	36,34	
4	Sr/Ca	k. A.				43,49	38,10	41,30	
5	Sr/Li	k. A.				37,91	40,91	42,11	
	Ergebnisoptionen								
6	Option 1: Spalte 1 mit Wert 39,98		41,15	2,68	1,34				
7	Option 2: Spalte 1 mit Wert 43,87		42,12	2,82	1,41				
8	Option 3: Mix höchste Werte Spalten 1 und 2		42,87	1,34	0,67				

 Tab. 27
 Spektralanalyse modellierter Wertereihen, Gesamtprofil.

Relative Peaks zwischen 35 und 45  $\mu m;$  vom Verfasser ausgelesen aus SD5 (Leistung von 1 nach 4 fallend).





In dem Fenster von 20–40 Zyklen/mm (entsprechen Perioden von 50–25 µm) kommen keine signifikanten Zyklen vor; alle Peaks liegen deutlich unterhalb des Signifikanz-Levels von 95 %. a) Lomb-Periodogramm der Rohdaten-reihe Mg/Ca [mmol/mol], n = 12443. b) Lomb-Periodogramm der Rohdatenreihe Mg/Li [mol/mmol], n = 12167. c) Lomb-Periodogramm der Rohdatenreihe Sr/Ca [mmol/mol], n = 12535. – Rote Linien: Signifikanz-Level von 95/99 % ( $\alpha$  = 0,05/0,01); Power: relative Varianz. Daten von DE WINTER et al. (2020); Datei: Supplementary\_Data\_1\_chemical\_results.xlsx.





a) Lomb-Periodogramm der Rohdatenreihe Sr/Li [mol/mol], n = 12322; In dem Fenster von 20–40 Zyklen/mm (entsprechen Perioden von 50–25 µm) kommen keine signifikanten Zyklen vor; alle Peaks liegen deutlich unterhalb des Signifikanz-Levels von 95 %. Datei: Supplementary\_Data\_1\_chemical\_results.xlsx. b) Lomb-Periodogramm der modellierten Wertereihe Mg/Li [mol/mmol], Profilabschnitt 33–100 mm, n = 83546. Die Rohdaten-Wertereihe (a) ist durch Bandpass-Filterung und Erweiterung der Datenbasis um einen Faktor 10 durch lineare Interpolation verändert worden (DE WINTER et al. 2020, Appendix 1, 8). Durch die "Leistungsmanipulation" liegen nun im Fenster von 20–40 Zyklen/mm Dutzende Peaks oberhalb des Signifikanz-Levels von 99 %. Datei: Supplementary\_Data\_3\_Bandpass-results.xlsx. – Rote Linien: Signifikanz-Level von 95/99 % ( $\alpha$  = 0,05/0,01); Power: relative Varianz. Daten von DE WINTER et al. (2020).





a) Rohdaten-Wertereihe, n = 200. Datei: Supplementary\_Data\_1\_chemical\_results.xlsx (SD1). b) Modellierte Wertereihe: Veränderung der Rohdaten-Wertereihe (a) durch Bandpass-Filterung und Erweiterung der Datenbasis um einen Faktor 10 durch lineare Interpolation (DE WINTER et al. 2020, Appendix 1, 8); n = 1990. Datei: Supplementary\_Data\_3\_Bandpass-results.xlsx (SD3). Die hier abgebildete Kurve stimmt im Aussehen mit der Kurve in DE WINTER et al. (2020), Fig. S10 (unten), überein. – Punkt-/Liniendarstellungen.





a) Lomb-Periodogramm der Rohdatenreihe: Keine signifikanten Zyklen. b) Lomb-Periodogramm der modellierten Wertereihe: Maximale Peaks bei 20,49/23,32/25,20/30,73/32,99 Zyklen/mm, entsprechen Perioden von 48,80/42,88/39,68/32,54/30,31  $\mu$ m. c) Multitaper-Spektrogramm der modellierten Wertereihe: Maximale Peaks bei 0,0242/0,0296/0,0374 Zyklen/0,001 mm entsprechen Perioden von 41,32/33,78/26,74  $\mu$ m. DE WINTER et al. (2020) weisen eine Periode von 33,78  $\mu$ m und 59 Zyklen/2 mm aus (ihre Table 1). – Rote Linien: Signifikanz-Level von 95/99 % ( $\alpha$  = 0,05/0,01); Power: relative Varianz; Anzahl "taper": 5. Daten von DE WINTER et al. (2020); Dateien: Supplementary\_Data\_1\_chemical\_results.xlsx (SD1); Supplementary\_Data\_3\_Bandpass-results.xlsx (SD3).





a) Rohdaten-Wertereihe, n = 200. Datei: Supplementary\_Data\_1\_chemical\_results.xlsx (SD1). b) Modellierte Wertereihe: Veränderung der Rohdaten-Wertereihe (a) durch Bandpass-Filterung und Erweiterung der Datenbasis um einen Faktor 10 durch lineare Interpolation (DE WINTER et al. 2020, Appendix 1, 8); n = 1990. Datei: Supplementary\_Data\_3\_Bandpass-results.xlsx (SD3). Die hier abgebildete Kurve stimmt im Aussehen mit der Kurve in DE WINTER et al. (2020), Fig. S11, überein. – Punkt-/Liniendarstellungen.





a) Lomb-Periodogramm der Rohdatenreihe: Keine signifikanten Zyklen. b) Lomb-Periodogramm der modellierten Wertereihe: Prominenter Peak bei 26,02 Zyklen/mm, entspricht einer Periode von 38,43 µm. c) Multitaper-Spekt-rogramm der modellierten Wertereihe: Prominenter Peak bei 0,02686 Zyklen/0,001 mm, entspricht einer Periode von 37,23 µm. DE WINTER et al. (2020) weisen eine Periode von 37,31 µm und 54 Zyklen/2 mm aus (ihre Table 1). – Rote Linien: Signifikanz-Level von 95/99 % ( $\alpha = 0,05/0,01$ ); Power: relative Varianz; Anzahl "taper": 5. Daten von DE WINTER et al. (2020); Dateien: Supplementary\_Data\_1\_chemical\_results.xlsx (SD1); Supplementary\_Data\_3\_Bandpass-results.xlsx (SD3).





a) Rohdaten-Wertereihe, n = 200. Datei: Supplementary\_Data\_1\_chemical\_results.xlsx (SD1). b) Modellierte Wertereihe: Veränderung der Rohdaten-Wertereihe (a) durch Bandpass-Filterung und Erweiterung der Datenbasis um einen Faktor 10 durch lineare Interpolation (DE WINTER et al. 2020, Appendix 1, 8); n = 1990. Datei: Supplementary\_Data\_3\_Bandpass-results.xlsx (SD3). Die hier abgebildete Kurve stimmt allerdings im Aussehen nicht mit der Kurve in DE WINTER et al. (2020), Fig. S12 (oben), überein. – Punkt-/Liniendarstellungen.





a) Lomb-Periodogramm der Rohdatenreihe: Keine signifikanten Zyklen. b) Lomb-Periodogramm der modellierten Wertereihe (Abb. 24): Maximale Peaks bei 25,4/27,0/30,7/32,8 Zyklen/mm, entsprechen Perioden von 39,37/37,04/32,57/30,49  $\mu$ m. c) Multitaper-Spektrogramm der modellierten Wertereihe (Abb. 24): Maximale Peaks bei 0,0266/0,0281/0,0317 Zyklen/0,001 mm, entsprechen Perioden von 37,59/35,59/31,55  $\mu$ m. DE WINTER et al. (2020) weisen eine Periode von 37,92  $\mu$ m und 53 Zyklen/2 mm aus (ihre Table 1). – Rote Linien: Signifikanz-Level von 95/99 % ( $\alpha$  = 0,05/0,01); Power: relative Varianz; Anzahl "taper": 5. Daten von DE WINTER et al. (2020); Dateien: Supplementary\_Data\_1\_chemical\_results.xlsx (SD1); Supplementary\_Data\_3\_Bandpass-results.xlsx (SD3).





Der gewählte Ausschnitt, 128,74–130,74 mm, ist identisch mit Teilprofil VI (vgl. Abb. 25). Ein Vergleich zeigt, dass in dem Bereich 25–35 Zyklen/mm jeweils ein maximaler Peak im Teilbereich 27-28 Zyklen/mm auftritt. a) Lomb-Periodogramm der modellierten Wertereihe: Maximale Peaks bei 14,38/19,63/20,76/24,07/27,76 Zyklen/mm, entsprechen Perioden von 69,54/50,94/48,17/41,55/36,02  $\mu$ m. b) Multitaper-Spektrogramm der modellierten Wertereihe: Das Bild ist unklar. Maximale Peaks bei 0,01355/0,01648/0,02014/0,02124 Zyklen/0,001 mm, entsprechen Perioden von 73,80/60,68/49,65/47,08  $\mu$ m. – Rote Linien: Signifikanz-Level von 95/99 % ( $\alpha$  = 0,05/0,01); Power: relative Varianz; Anzahl "taper": 5. Datei: Supplementary\_Data\_3\_Bandpass-results.xlsx. Daten von DE WINTER et al. (2020).
Pos.	Abstand zum Boden	Modellierter/s		Wachst modell	hinzuge- fügte	
	[µm]	Tag	Jahr	Jahr [µm]	Tag [µm]	Tage
1	33226	0				
2	45316	365	1	12090	33,12	185
3	57303	730	2	11987	32,84	185
4	67231	1095	3	9928	27,20	185
5	81290	1460	4	14059	38,52	219
6	96766	1825	5	15476	42,40	
7	112750	2190	6	15984	43,79	33
8	129570	2555	7	16820	46,08	155
9	147740	2920	8	18170	49,78	80
10	167110	3285	9	19370	53,07	35
11	178650	3650	10	11540	31,62	
12	188870	3979	10,9			
Summe	155644	3979	10,9	14277	39,12	1077
			1-10	14542	39,84	
			1-9	14876	40,76	

 Tab. 28
 Altersmodell II, hinzugefügte Tage.

Altersmodell und Einteilung der Jahre nach Blatt "model" (SD6). Daten von DE WINTER et al. (2020); Datei: Supplementary\_Data\_6\_growth\_model\_comp.xlsx (SD6).



#### Abb. 27 Altersmodell.

Verteilung der Wertepaare der Rohdatenreihen  $\delta^{18}$ 0 nach Anwendung des Altersmodells. In einigen Abschnitten erfolgte eine "Dehnung" durch Hinzufügung bzw. Ausgliederung von (modellierten) Tagen, an welchen kein Wachstum stattfand (vgl. Abb. 10b). – Punkt-/Liniendarstellung, n = 310. Daten von DE WINTER et al. (2020); Datei: Supplementary\_Data\_6\_growth\_model\_comp.xlsx (SD6).



**Abb. 28** Altersmodell und sinusoidale Passung. Sinusoidale Passung (rot Linie) mit 365-Tage-Periode (Vorgabe nach DE WINTER et al. 2020). Daten wie Abb. 27. (Liniendarstellung, n = 310).

Teilprofil (je 2 mm)	Länge Werte von	diese Arbeit			
	Mg/Ca	Mg/Li	Sr/Ca	Sr/Li	gesamt
I	36,58	39,06	40,16	34,17	
II	39,57	35,59	36,28	36,36	
III	34,72	36,01	35,09	34,35	
IV	33,78	34,32	36,23	39,06	
V	37,45	37,04	37,31	37,31	
VI	39,26	35,88	32,43	37,92	_
Mittelwert [µm]					36,50
Standardabweichung					2,02
Standardabweichung [%]					5,53%
Standardfehler					0,41

**Tab. 29** Länge des täglichen Zyklus.Nach DE WINTER et al. (2020), ihre Table 1.

a)		C				
	Year #	Mg/Ca	Sr/Ca	Mg/Li	Sr/Li	Mittelwert
	1	94,8%	92,8%	90,6%	91,6%	
	2	94,8%	94,2%	90,5%	95,2%	
	3	85,9%	92,0%	93,3%	94,5%	
	4	92,8%	93,7%	85,8%	88,8%	
	5	74,1%	80,5%	94,2%	92,9%	
	6	88,8%	90,8%	83,5%	80,8%	
	7	99,7%	99,7%	98,4%	97,7%	
	8	100,0%	99,9%	99,8%	99,8%	
	9	99,4%	94,5%	79,8%	85,0%	
	Mittelwert	92,3%	93,1%	90,7%	91,8%	92,0%

		Days per	' year				
Year #	Mg/Ca	Sr/Ca	Mg/Li	Sr/Li	average	s.e.	SD
1	328,0	322,1	319,1	311,0	318,85	2,99	
2	317,6	323,7	318,1	314,0	316,91	2,11	
3	232,9	261,9	249,7	232,8	256,88	13,71	
4	377,1	376,7	395,1	364,9	376,41	5,23	
5	462,8	457,1	397,2	372,4	441,49	25,77	
6	384,0	416,2	454,8	472,6	428,76	15,69	
7	332,9	407,2	389,1	401,1	377,12	14,23	
8	372,0	434,2	420,9	446,8	408,95	15,86	
9	334,0	469,6	476,1	471,6	436,94	26,85	
Average cl	hemical layer co	unting			372,70	11,67	70,03

Summe 3141,4 3468,7 3420,1	3387,1
----------------------------	--------

	Tag	ge pro Jahr (v	or Korrektur)				
Jahr	Mg/Ca	Sr/Ca	Mg/Li	Sr/Li	Mittelwert	SEM	SD
1	311,0	299,0	289,0	285,0	296,00		
2	301,0	305,0	288,0	299,0	298,25		
3	200,0	241,0	233,0	220,0	223,50		
4	350,0	353,0	339,0	324,0	341,50		
5	343,0	368,0	374,0	346,0	357,75		
6	341,0	378,0	380,0	382,0	370,25		
7	332,0	406,0	383,0	392,0	378,25		
8	372,0	434,0	420,0	446,0	418,00		
9	332,0	444,0	380,0	401,0	389,25		
Average ch	emical layer cour	nting (chemise	che Lagenzäh	lung)	341,42	10,17	61,05
Summe	2882	3228	3086	3095			
	91,7%	93,1%	90,2%	91,4%			

#### Tab. 30 "Chemische Lagenzählung" I.

a)/b) Ausgewiesene Ergebnisse von DE WINTER et al. (2020) für "Vollständigkeit der Aufzeichnung" und "Tage pro Jahr" (nach Korrektur). c) Rückrechnung der "Tage pro Jahr" (vor Korrektur) durch den Verfasser; zu einer Abzählung s. Tab. 31. Daten von DE WINTER et al. (2020); Datei: Supplementary\_Data\_9\_days\_per\_year.xlsx (SD9).

_	Ta	ge pro Jahr (v	or Korrektur)				
Jahr	Mg/Ca	Sr/Ca	Mg/Li	Sr/Li	Mittelwert	SEM	SD
1	311,0	299,0	289,0	285,0	296,00		
2	301,0	305,0	288,0	299,0	298,25		
3	220,0	241,0	233,0	217,0	227,75		
4	328,0	353,0	339,0	324,0	336,00		
5	343,0	368,0	374,0	346,0	357,75		
6	342,0	378,0	380,0	379,0	369,75		
7	331,0	406,0	383,0	392,0	378,00		
8	372,0	434,0	420,0	446,0	418,00		
9	332,0	445,0	381,0	400,0	389,50		
Average chemical layer counting (chemische Lagenzählung)					341,22	10,00	60,00
Summe	2880	3229	3087	3088			
	91,7%	93,1%	90,3%	91,2%			

Tab. 31 "Chemische Lagenzählung" II.

Abzählung durch den Verfasser. Vgl. mit Tab. 30c: es liegen geringfügige Unterschiede vor. Daten von DE WINTER et al. (2020); Datei: Supplementary\_Data\_8\_cycle\_amplitudes\_thicknesses.xlsx (SD8).

Alters	modell (SD6)	Abgrenzung Jahre nach SD8
Jahr Abstand Bo- den, bis [mm]		Abstand Bo- den, bis [~mm]
1	45,316	45,200
2	57,300	57,210
3	67,230	66,680
4	81,290	81,200
5	96,770	96,708
6	112,750	112,6662
7	129,570	129,170
8	147,740	147,216
9	167,110	164,826*

Tab. 32 Abgrenzung der Wachstumsjahre.

Es liegen unterschiedliche Abgrenzungen vor (SD6 vs. SD8). \*Endposition der Spurenelement-Messreihe. Daten von DE WINTER et al. (2020); Dateien: Supplementary\_Data\_6\_growth\_model\_comp.xlsx (SD6); Supplementary\_Data\_8\_cycle\_amplitudes\_thicknesses.xlsx (SD8).

### Glossar mit Verzeichnis der Abkürzungen

Ø: Durchschnittlich, Durchmesser.

**?:** Fragliches Vorkommen; unklare Beschreibung oder Situation.

- **Brachiopoden:** Armfüßer. Marine, bilateral-symmetrische Tiere mit zwei Schalen (Armklappe und Stielklappe). Heute existieren nur noch wenige Hundert Arten.
- **Cephalopoden:** Kopffüßer. Sie umfassen die ausgestorbenen Unterklassen der Ammonoidea und Bactroidea sowie die Unterklassen der Nautiloidea und Coleoidea (Tintenfische).
- Chronostratigraphie: "(...) jener Teil der Stratigraphie, der sich mit den relativen Zeitbeziehungen und Alter der Gesteinskörper beschäftigt" (SALVADOR 1994, 77) oder anders ausgedrückt mit "der relativen Zeitgliederung anhand von Gesteinskörpern" (STEININGER & PILLER 1999, 4). Die formalen chronostratigraphischen Einheiten sind, hierarchisch aufsteigend: Stufe ("Grundeinheit"), Serie, System, Ärathem, Äonothem (s. Abb. 29, jedoch ohne Stufe).

 $\delta^{13}$ C, Kohlenstoffisotopenverhältnis: Verhältnis von  $^{13}$ C zu  $^{12}$ C in Relation zu einem Standard.

- **δ**<sup>18</sup>**O**, Sauerstoffisotopenverhältnis: Verhältnis von schweren zu leichten Isotopen in Relation zu einem internationalen Standard,  $\delta^{18}$ O = (((<sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O) Probe / (<sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O) Standard) – 1) x 1000 ‰.
- **Environment:** "Umwelt", "Umgebung"; ein allumfassender Begriff, der hier die angenommenen Zustände und Prozesse des Bereiches der Ablagerung wiedergibt, die wiederum aus den Ablagerungen selbst (sowie der Region bzw. des Beckens insgesamt) abgeleitet und interpretiert werden.

Erdrotation: Siehe Abschnitt 2.2.

Fig.: Figure; hier Abbildung.

Filterung (Zeitreihen-): Tiefpassfilterung: "Passierenlassen" tiefer Frequenzen, Unterdrückung (relativ) hoher Frequenzen (kleiner Perioden) zur Hervorhebung (relativ) niedriger Frequenzen (langer Perioden); Hochpassfilterung: "Passierenlassen" hoher Frequenzen, entsprechend umgekehrt zu Tiefpassfilterung; Bandpassfilterung: Hervorhebung bzw. Extraktion eines bestimmten Frequenz- bzw. Periodenintervalls; bei Ersterem Unterdrückung der anderen Frequenzen.

**Ggf.:** Gegebenenfalls.

Geochronologie: Siehe Abschnitt 2.3.

Inkrement: Zuwachs; schrittweise Erhöhung einer Größe (hier Skelett des Organismus).

**Isotopenalter:** Mit radiometrischen Altersbestimmungsmethoden ermittelte Alter. → Zeitangaben.

K. A.: Keine Angabe.

**Konfidenz-Level:** Sicherheit der Schätzaussage, auch Konfidenzniveau oder Signifikanz-Level (engl.: *significance level*).

Laminae: Mehrzahl von Lamina (Lamine), Laminen. Hier feine Schichtlagen des Skeletts.

Marin: Das Meer betreffend; bezieht sich auf im (oder durch das) Meer (verursachte) ablaufende Prozesse und Bildungen.

Pos.: Position; häufig bei Tabellen verwendet.

Rugae: Feine horizontale Querrunzeln der Epitheka (vgl. FLÜGEL 1977).



Abb. 29 Internationale Chronostratigraphische Tabelle. Mit Zuweisung geschätzter numerischer Alter des GTS2012-Altersmodells in Millionen [radiometrischen] Jahren (Mra) ohne Unsicherheiten (vgl. GRADSTEIN et al. 2012); rechte Spalte. Nach Version v2022/02 der *Internationalen Stratigraphischen Kommission* (ICS) (stratigraphy.org) mit teilweise aktualisierten Alterswerten. Mississippium und Pennsylvanium werden auch als Subsysteme klassifiziert. Deutsche Bezeichnungen nach STDK2017 (Stratigraphische Tabelle von Deutschland Kompakt). Grafik: F. MEYER/J. WEISS. Pos.: Position; häufig bei Tabellen verwendet.

Rugae: Feine horizontale Querrunzeln der Epitheka (vgl. FLÜGEL 1977).

Tidal: Im Einflussbereich der Gezeiten; Gezeiten-bedingt.

Vs.: Versus; gegen(übergestellt), bei Vergleichen.

**σ**: Standardabweichung (der Grundgesamteinheit) bzw. Unsicherheit; verkürzt:  $1\sigma = 68,3\%$ ;  $2\sigma = 95,4\%$ .

s.: siehe.

S.: Seite.

Scleractinia: Steinkorallen.

**Signifikanz-Level:** → Konfidenz-Level.

Spektrale Analyse: Siehe Abschnitt 2.4.

- **Stromatolith:** Kalkgebilde mit schalig-blättrigem Aufbau, schichtig oder kuppelartig aufgewölbt; wörtlich etwa "Mattensteine". Paläozoische Stromatolithe werden unterschiedlich gedeutet: als organische oder anorganische Gebilde.
- Zeit- bzw. Altersangaben: Einfügungen in eckigen Klammern dienen unter Inkaufnahme einer Verschlechterung der Lesbarkeit – zur Konkretisierung oder Klarstellung; die Einfügung "[radiometrisch]" bezieht sich auf radiometrische Altersbestimmungen (inklusive Interpolation).

### Tabellenverzeichnis

Tab. 1 Gezeiten-gesteuerte Periodizitäten von Wachs	tumsmustern in Muscheln3
Tab. 2   Zeitspannen und ihre Dauer	
Tab. 3         Variation der Rotationsrate der Erde	
Tab. 4 Variation der Länge des Tages	5
Tab. 5         Variation des Abstandes Erde – Mond	5
Tab. 6 Zählungen von Außenskelettinkrementen an Ko	orallen 10
Tab. 7 Zählungen von Außenskelettinkrementen an m	itteldevonischen Korallen
Tab. 8 Zählungen von Skelettinkrementen an Korallen	und Brachiopoden 12
Tab. 9 Zählungen von Schaleninkrementen von fossile	n Muschelindividuen16
Tab. 10 Zählungen von Skelettinkrementen, Oberkam	brium bis rezent18
Tab. 11 Abzählungen von Skelettinkrementen, Ordovi	zium bis rezent 20
Tab. 12 Abzählungen von Jahresinkrementen an Muse	cheln, Devon bis rezent
Tab. 13 Abzählungen von Inkrementen an Stromatolit	hen, Kambrium bis rezent
Tab. 14 Spektralanalyse der Wertereihen, Jahreszyklu	s
Tab. 15 Spektralanalyse der Spurenelement-Werterei	hen, Tageszyklus 32
Tab. 16 Spektralanalyse modellierter Wertereihen, Te	ilprofile
Tab. 17 Altersmodell I.	
Tab. 18 Altersmodell II.	
Tab. 19 Anzahl der Tage pro Jahr I	
Tab. 20 Abzählung markierter Tagesinkremente	

21	Anzahl der Tage pro Jahr im Capanium	40
22	Ergebnisse und Unsicherheiten	40
23	Länge des Tages im Campanium I.	41
24	Länge des Tages im Campanium II	42
25	Vergleich der Ergebnisse	43
26	Tage pro Jahr in der Oberkreide, Vergleich	44
27	Spektralanalyse modellierter Wertereihen, Gesamtprofil	59
28	Altersmodell II, hinzugefügte Tage	69
29	Länge des täglichen Zyklus.	70
30	"Chemische Lagenzählung" I	71
31	"Chemische Lagenzählung" II	72
32	Abgrenzung der Wachstumsjahre	.72
	<ul> <li>21</li> <li>22</li> <li>23</li> <li>24</li> <li>25</li> <li>26</li> <li>27</li> <li>28</li> <li>29</li> <li>30</li> <li>31</li> <li>32</li> </ul>	<ul> <li>21 Anzahl der Tage pro Jahr im Capanium</li></ul>

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Tage in jedem Jahr nach WELLS (1963)	8
Abb. 2	Anzahl Feinlaminen pro Cluster	17
Abb. 3	Länge des Monats nach PANNELLA et al. (1968) I	18
Abb. 4	Länge des Monats nach PANNELLA et al. (1968) II.	19
Abb. 5	Länge des Monats nach PANNELLA (1972a) I	21
Abb. 6	Länge des Monats nach PANNELLA (1972a) II.	22
Abb. 7	Anzahl Tage pro Jahr im Campanium (Oberkreide)	29
Abb. 8	Twitter-Kommunikation.	48
Abb. 9	Anzahl Tage pro Jahr im Phanerozoikum.	49
Abb. 10	) Rohdatenreihen $\delta^{13}$ C und $\delta^{18}$ O	53
Abb. 11	L Modellierte Wertereihen $\delta^{13}$ C und $\delta^{18}$ O	54
Abb. 12	2 Powerspektren der Wertereihen $\delta^{13}$ C und $\delta^{18}$ O	55
Abb. 13	${f S}$ Powerspektren der Wertereihen $\delta^{13}$ C und $\delta^{18}$ O, Ausschnitt	56
Abb. 14	Powerspektren der Wertereihen Mg/Ca und Mg/Li, Lang-I.	56
Abb. 15	5 Powerspektren der Wertereihen Mg/Ca und Mg/Li, Lang-II	57
Abb. 16	5 Powerspektren der Wertereihen Sr/Ca und Sr/Li, Lang-I	57
Abb. 17	7 Powerspektren der Wertereihen Sr/Ca und Sr/Li, Lang-II	58
Abb. 18	3 Powerspektren der Spurenelement-Wertereihen, Gesamtprofil	60
Abb. 19	Powerspektren der Wertereihe Sr/Li, Gesamtprofil und Ausschnitt.	61
Abb. 20	) Wertereihen Mg/Ca, Teilprofil IV.	62
Abb. 21	L Powerspektren der Wertereihen Mg/Ca, Teilprofil IV.	63
Abb. 22	2 Wertereihen Sr/Ca, Teilprofil V	64
Abb. 23	B Powerspektren der Wertereihen Sr/Ca, Teilprofil V.	65
Abb. 24	Wertereihen Sr/Li, Teilprofil VI	66
Abb. 25	Powerspektren der Wertereihen Sr/Li, Teilprofil VI	67
Abb. 26	5 Powerspektren der Wertereihe Sr/Li, Ausschnitt Gesamtprofil	68

Abb. 27	Altersmodell	59
Abb. 28	Altersmodell und sinusoidale Passung.	70
Abb. 29	Internationale Chronostratigraphische Tabelle	74

## Datennachweis

Der Zugriff erfolgte im Zeitraum Oktober bis Dezember 2021.

#### Datei (Autor)

Quelle

Supplementary\_Data\_1\_chemical\_results.xlsx Supplementary\_Data\_3\_Bandpass\_results.xlsx Supplementary\_Data\_4\_Stack\_results.xlsx Supplementary\_Data\_5\_MTM\_results.xlsx Supplementary\_Data\_6\_growth\_model\_comp.xlsx Supplementary\_Data\_8\_cycle\_amplitudes\_thicknesses.xlsx Supplementary\_Data\_9\_days\_per\_year.xlsx (DE WINTER et al. 2020) https://zenodo.org/record/3477900#.Yc16K2jMKUI

# Danksagung

Für eine Durchsicht des Manuskripts und wertvolle Hinweise danke ich Thomas VEIGEL und Dr. Martin ERNST.

### Literatur

American Geophysical Union (2020) Ancient shell shows days were half-hour shorter 70 million years ago. Pressemitteilung vom 9. März 2020.

https://news.agu.org/press-release/ancient-shell-shows-days-were-half-hour-shorter-70-million-years-ago/ BARKER RM (1964) Microtextural variations in pelecypod shells. Malacologia 2, 69–86.

- BARNES DJ (1972) The structure and formation of growth-ridges in scleractinian coral skeletons. Proc. R. Soc. London B *182*, 331–350.
- BERGER A & LOUTRE M (1994) Astronomical forcing through geological time. Special Publication of the International Association of Sedimentologists *19*, 15–24.
- BERRY AJ (1963) Growth and variation of the shell in certain Malayan limestone hill snails. Journal of Molluscan Studies 35, 203–206.
- BERRY WB & BARKER RM (1968) Fossil bivalve shells indicate longer month and year in Cretaceous than present. Nature 217, 938–939.
- BERRY W B & BARKER RM (1968) Growth increments in fossil and modern bivalves. In: ROSENBERG GD & RUNCORN SK (eds.) Growth Rhythms and the History of the Earth's Rotation. London, 9–26.
- BILLS BG & RAY RD (1999) Lunar orbital evolution: A synthesis of recent results. Geophysical Research Letters 26, 3045–3048.
- BLACKMAN RB & TUKEY JW (1958) The Measurement of Power Spectra. New York.
- BRICE WR (1996) John West Wells. In: National Academy of Sciences (ed.) Biographical Memoirs. Volume 70, 424–434.
- BROSCHE P (1981) Gezeitenreibung im Erde-Mond-System. Mitteilungen der Astronomischen Gesellschaft 51, 81– 100.
- BROSCHE P & SÜNDERMANN J (1978) (eds.) Tidal Friction and the Earth's Rotation. Proceedings of a Workshop Held at the Centre of Interdisciplinary Research (ZIF) of the University of Bielefeld, 26–30 September, 1977.
- BROSCHE P & SÜNDERMANN J (1982) (eds.) Tidal Friction and the Earth's Rotation II. Proceedings of a Workshop Held at the Centre of Interdisciplinary Research (ZIF) of the University of Bielefeld, September 28 October 3, 1981.
- BUDDEMEIER RW (1974) Environmental controls over annual and lunar monthly cycles in hermatypic coral calcification. Proc. 2. Int. Coral Reef Symp. 2, 260–267.
- CALAME O & MULHOLLAND JD (1978) Effect of the tidal friction on the lunar orbit and the rotation of the Earth and its determination by laser ranging. In: BROSCHE P & SÜNDERMANN J (eds.) Tidal Friction and the Earth's Rotation, 45–53.
- CHAN MA, KVALE EP, ARCHER AW & SONETT CP (1994) Oldest direct evidence of lunar-solar tidal forcing in sedimentary rhythmites, Proterozoic Big Cottonwood Formation, central Utah. Geology 22, 791–794.
- CLARK GR (1968) Mollusk shell: daily growth lines. Science 161, 800-802.
- CLARK GR (1974) Calcification on an unstable substrate: marginal growth in the mollusk *Pecten diegensis*. Science *183*, 968–970.
- CLARK GR (1975) Periodic growth and biological rhythms in experimentally grown bivalves. In: ROSENBERG GD & RUNCORN SK (eds.) Growth Rhythms and the History of the Earth's Rotation. London, 103–117.
- CRISP DJ (1989) Tidally deposited bands in shells of barnacles and molluscs. In: CRICK RE (ed.) Origin, Evolution, and Modern Aspects of Biomineralization in Plants and Animals. New York, 103–124.
- DEUBNER F-L (1990) Discussion on Late Precambrian tidal rhythmites in South Australia and the history of the Earth's Rotation. J. Geol. Soc. London 147, 1083–1084.
- Deutschlandfunk Nova (2020) Muschel-Analyse Tage waren früher kürzer. Deutschlandfunknova.de, 10. 3. 2020.
- DEYNOUX M, DURINGER P, KHATIB R & VILLENEUVE M (1993) Laterally and vertically accreted tidal deposits in the Upper Proterozoic Madina-Kouta Basin, southeastern Senegal, West Africa. Sediment. Geol. *84*, 179–188.
- DE WINTER NJ (2018) Improving techniques and interpretations for reconstructing high-resolution paleoclimate in deep time from bivalve shells and tooth enamel. Diss., Freie Universität Brüssel. [Abschnitt 2.6, 185–197, als "currently under review in an international peer-reviewed journal" gekennzeichnet: DE WINTER NJ, GODERIS S, VAN MALDEREN SJM, SINNESAEL M, VANSTEENBERGE S, SNOECK C, VANHAECKE F & CLAEYS P (2018) Daily chemical variability in a Late Cretaceous rudist shell. Nicht publiziert.]
- DE WINTER NJ, GODERIS S, DEHAIRS F, JAGT JWM, FRAAIJE RHB, VAN MALDEREN SJM, VANHAECKE F & CLAEYS P (2017) Tropical seasonality in the late Campanian (late Cretaceous): Comparison between multiproxy records from three bivalve taxa from Oman. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology *485*, 740–760.

- DE WINTER NJ, GODERIS S, VAN MALDEREN SJM, SINNESAEL M, VANSTEENBERGE S, SNOECK C, BELZA J, VANHAECKE F & CLAEYS P (2019) Supplementary Information to "Sub-daily scale chemical variability in a daily laminated Torreites sanchezi rudist shell: Implications for rudist paleobiology and the Cretaceous day-night cycle" to be published in Palaeoceanography and Palaeoclimatology. Zenodo Database, https://zenodo.org/record/3477900. Licence: CC BY 4.0. [vom 9. Oktober 2019]
- DE WINTER NJ, GODERIS S, VAN MALDEREN SJM, SINNESAEL M, VANSTEENBERGE S, SNOECK C, BELZA J, VANHAECKE F & CLAEYS P (2020) Subdaily-scale chemical variability in a *Torreites sanchezi* rudist shell: Implications for rudist paleobiology and the Cretaceous day-night cycle. Paleoceanography and Paleoclimatology *35*, e2019PA003723, doi.org/10.1029/2019PA003723.
- DICKE RH (1966) The secular acceleration of the Earth's rotation and cosmology. In: MARSDEN BG & CAMERON AGW (Eds.) The Earth-Moon System. New York, 98–164.
- DICKEY JO, BENDER PL, FALLER JE, NEWHALL XX, RICKLEFS RL, RIES JG, SHELUS PJ, VEILLET C, WHIPPLE AL, WIANT JR, WILLIAMS JG & YODER CF (1964) Lunar laser raniging: a continuing legacy of the Apollo program. Science *265*, 482–490. DOLMAN J (1974) An Investigation of Growth in Bivalves. Thesis, University of Newcastle upon Tyne.
- DOLMAN J (1975) A technique for the extraction of environmental and geophysical information from growth records in invertebrates and stromatolites. In: ROSENBERG GD & RUNCORN SK (eds.) Growth Rhythms and the History of the Earth's Rotation. London, 191–222.

DÖNGES J (2020) Dinosaurier hatten 372-Tage-Jahr. Spektrum.de; 10. 3. 2020.

- EVANS JW (1972) Tidal growth increments in the cockle Clinocardium nuttalli. Science 176, 416–417.
- EVANS JW (1975) growth and micromorphology of two bivalves exhibiting nondaily growth lines. In: ROSENBERG GD & RUNCORN SK (eds.) Growth Rhythms and the History of the Earth's Rotation. London, 119–134.
- FARROW GE (1971) Periodicity structures in the bivalve shell: experiments to establish growth controls in *Cerastoderma edule* from the Thames estuary. Palaeontology 14, 571–588.
- FARROW GE (1972) Periodicity structures in the bivalve shell: analysis of stunting in *Cerastoderma edule* from the Burry Inlet (South Wales). Palaeontology *15*, 61–72.

FLÜGEL HW (1977) "Rugae" und Wachstumszonen bei Korallen. Paläontologische Zeitschrift 51, 117–130.

- HALSTEAD LB (1991) Der Urzeit auf der Spur. 2. Aufl., Stuttgart. [Übersetzung von: HALSTEAD LB (1982) Hunting the Past. London.]
- JOHNSON GAL & NUDDS JR (1975) Carboniferous coral geochronometers. In: ROSENBERG GD & RUNCORN SK (eds.) Growth Rhythms and the History of the Earth's Rotation. London, 27–42.
- JUDD EJ, WILKINSON BH & IVANY LC (2018) The life and time of clams: Derivation of intra-annual growth rates from high-resolution oxygen isotope profiles. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology *490*, 70–83.
- GRADSTEIN FM, OGG JG, SCHMITZ MD & OGG GM (Eds.) (2012) The Geologic Time Scale 2012. Volume 1/2, Oxford Amsterdam.
- GRADSTEIN FM, OGG JG, SCHMITZ MD & OGG GM (Eds.) (2020) Geologic Time Scale 2020. Volume 1/2, Oxford Amsterdam.
- HALL CR JR (1975) Latitudinal variation in shell growth patterns of bivalve molluscs: implications and problems. In: ROSENBERG GD & RUNCORN SK (eds.) Growth Rhythms and the History of the Earth's Rotation. London, 163–175.
   HAMMER Ø (2010) Time series analysis with Past. University of Oslo.
- HAMMER Ø (2012) Past. Paleontological Statistics, Version 2.17. Reference Manual. University of Oslo.
- HOUSE MR & FARROW GE (1968) Daily growth banding in the shell of the cockle *Cardium edule*. Nature *219*, 1384–1386.
- KNUTSON DW & BUDDEMEIER RW (1972) Distribution of radionuclides in reef corals: opportunity for data retrieval and study of effects. Int. Atomic Energy Publ. SM. *158*, 735–745.
- KNUTSON DW, BUDDEMEIER RW & SMITH SV (1972) Coral chronometers: seasonal growth bands in reef corals. Science 177, 270–272.
- KOTULLA M (2020) Bentonit-Horizonte in paläozoischen Sedimentfolgen: Tephrostratigraphie und U-Pb-Altersbestimmungen mit magmatogenen Zirkonen. W+W Special Paper G-20-1, Baiersbronn.

https://www.wort-und-wissen.org/wp-content/uploads/Bentonit-Horizonte\_G-20-1.pdf

- KRÖMMELBEIN K (1976) Brinkmanns Abriß der Geologie. Zweiter Band: Historische Geologie. 10./11. Auflage, neubearb.; Stuttgart.
- KRUMBIEGEL G (1981) Die geologische Zeitrechnung (Geochronologie). In: HOHL R (Hrsg.) Die Entwicklungsgeschichte der Erde. Leipzig, 5., überarbeitete Auflage, 281–288.
- KULP JL (1961) Geologic Time Scale. Science 133, 1105–1114.
- KVALE EP, CUTRIGHT J, BILODEAU D, ARCHER A, JOHNSON HR & PICKETT B (1995) Analysis of modern tides and implications for ancient tidalites. Cont. Shelf Res. 15, 1921–1943.
- LAMAR DL & MERIFIELD PM (1966) Length of Devonian day from Scrutton's coral data. Journal of Geophysical Research 71, 4429–4430.

LAMBECK K (1980) The Earth's Variable Rotation: Geophysical Causes and Consequences. New York.

LASKAR J (2020) Astrochronology. In: GRADSTEIN FM, OGG JG, SCHMITZ MD & OGG GM (eds.) Geologic Time Scale 2020. Volume 1, 129–158.

LASKAR J, ROBUTEL P, JOUTEL F, GASTINEAU A, CORREIA ACM & LEVRARD B (2004) A long-term numerical solution for the isolation quantities of the Earth. Astronomy & Astrophysics 428, 261–285.

LOMB NR (1976) Least squares frequency analysis of unequally spaced data. Astrophys. Space Sci. 39, 447–462.

LÖTHER R (2004) Zeit und Evolution der Lebewesen. Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät *68*, 67–78. [Überarbeitete Fassung eines Vortrages vor den Arbeitskreisen "Zeitrhythmik" und "Evolutionsforschung als Rekonstruktion der Vergangenheit" der Leibniz-Sozietät am 13. November 2003.]

LOSSAU N (2021) Als das Jahr noch 372 Tage hatte. Welt.de/wissenschaft; 30. 3. 2021 [erstmals März 2020].

MAZZULLO SJ (1971) Length of the year during the Silurian and Devonian Periods. Geol. Soc. Am. Bull. 82, 1085– 1086.

MCGUGAN A (1968) Possible use of algal stromatolite rhythms in geochronology. Abstracts of Papers submitted for the Annual Meeting in New Orleans 1967, 145. [GSA Special Paper 115].

MEYERS SR & MALINVERNO A (2018) Proterozoic Milankovitch cycles and the history of the solar system. Proceedings of the National Academy of Science, 201717689. https://doi.org/10.1073/pnas.1717689115

Монк RE (1975) Measured periodicities of the Biwabik (Precambrian) stromatolites and their geophysical significance. In: ROSENBERG GD & RUNCORN SK (eds.) Growth Rhythms and the History of the Earth's Rotation. London, 43–56.

MULLER PM & STEPHENSON FR (1975) The acceleration from the Earth and Moon from early astronomical observations. In: ROSENBERG GD & RUNCORN SK (eds.) Growth Rhythms and the History of the Earth's Rotation. London, 459–534.

MULLER RA & MACDONALD GJ (2000) Ice Ages and Astronomical Causes. Data, spectral analysis and mechanisms. Berlin Heidelberg New York.

MUNK WH & MACDONALD GJF (1960) The Rotation of the Erath. A Geophysical Discussion. London.

PANNELLA G (1972a) Paleontological evidence on the Earth's rotational history since early Precambrian. Astrophysics and Space Science 16, 212–237.

PANNELLA G (1972b) Precambrian stromatolites as paleontological clocks. Proceedings 24th Int. Geol. Congr., sect. 1, 50–57.

PANNELLA G (1975) Paleontological clocks and the history of the Earth's rotation. In: ROSENBERG GD & RUNCORN SK (eds.) Growth Rhythms and the History of the Earth's Rotation. London, 253–284.

PANNELLA G (1976) Tidal growth patterns in Recent and fossil mollusc bivalve shells: A tool for the reconstruction of paleotides. Naturwissenschaften *63*, 539–543.

- PANNELLA G & MACCLINTOCK C (1968) Biological and environmental rhythms reflected in molluscan shell growth. J. Paleontol. Mem. 42, 64–80.
- PANNELLA G, MACCLINTOCK C & THOMPSON M (1968) Paleontological evidence of variation in length of synodic month since Late Cambrian. Science *162*, 792–796.

PODBREGAR N (2020) Tage der Dinosaurier waren 30 Minuten kürzer. Scinexx.de, 10. 3. 2020.

RICE D (2020) Days were a half-hour shorter when dinosaurs roamed the Earth 70 million years ago. Eu.usatoday.com; 10. 3. 2020.

RHOADS DC & PANNELLA G (1970) The use of molluscan shell growth patterns in ecology and palaeoecology. Lethaia 3, 143–161.

ROSENBERG (1975) A comment on terminology: the increment and the series. In: ROSENBERG GD & RUNCORN SK (eds.) Growth Rhythms and the History of the Earth's Rotation. London, 1–8.

ROSENBERG GD & RUNCORN SK (1975) (eds.) Growth Rhythms and the History of the Earth's Rotation. London. RUNCORN SK (1964) Changes in the Earth's moment of inertia. Nature 204, 823–825.

RUNCORN SK (1968) Fossil Bivalve Shells and the Length of Month and Year in the Cretaceous. Nature 218, 459.

RUNCORN SK (1979) Palaeontological data on the history of the Earth-Moon system. Phys. Earth Planet. Inter. 20, 1–5.

SALVADOR A (1994) (Ed.) International Stratigraphic Guide. 2<sup>nd</sup> ed.

SCARGLE JD (1982) Studies in astronomical time series analysis II. Statistical aspects of spectral analysis of unevenly spaced data. Astrophysical Journal *263*, 835–853.

SCARGLE JD (1989) Studies in astronomical time series analysis III. Fourier transforms, autocorrelation functions, and cross-correlation functions of unevenly spaced data. The Astrophysical Journal *343*, 874–887.

SCHLUMM F (2020) Erdrotation – Für Dinosaurier waren die Tage kürzer. Derstandard.de; 30. 3. 2020.

SCHÖNWIESE C-D (2013) Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler. Stuttgart.

SCRUTTON CT (1965) Periodicity in Devonian coral growth. Palaeontology 7, 552–558.

SCRUTTON CT (1970) Evidence for a monthly periodicity in the growth of some corals. In: RUNCORN SK (ed.) Palaeogeophysics, 11–16.

- SCRUTTON CT (1978) Periodic growth features in fossil organisms and the length of the day and month. In: BROSCHE P & SÜNDERMANN J (eds.) Tidal Friction and the Earth's Rotation, 154–196.
- SCRUTTON CT (1998) The Palaeozoic corals II: structure, variation and palaeoecology. Proceedings of the Yorkshire Geological Society 52, 1–57.

SCRUTTON CT & HIPKIN RG (1973) Long-term changes in the rotation rate of the Earth. Earth Sci. Rev. 9, 259–274.

- SEIDLER C (chs) (2020) Schnellere Erdrotation Zu Dino-Zeiten waren Tage eine halbe Stunde kürzer. Spiegel.de/wissenschaft; 11. 3. 2020.
- STEPHENSON FR (1972) Some geophysical, astronomical and chronological deductions from early astronomical records. Thesis, Universität von Newcastle.
- STEPHENSON FR (2007) Warum die Tage länger werden. Spektrum der Wissenschaft 10/07, 36–45.
- STEPHENSON FR, MORRISON LV & HOHENKERK CY (2016) Measurement of the Earth's rotation: 720 BC to AD 2015. Proc. R. Soc. A 472, 1–26.
- STRICKLAND A (2020) In Earth's early history, a day was 23.5 hours and a year lasted 372 days. Edition.cnn.com; 13. 3. 2020.
- THOMSON DJ (1982) Spectrum estimation and harmonic analysis. Proc. IEEE 70, 1055–1096.
- THOMPSON I (1975) Biological clocks and shell growth in bivalves. ROSENBERG GD & RUNCORN SK (eds.) Growth Rhythms and the History of the Earth's Rotation. London, 149–162.
- TUKEY J (1967) An introduction to the calculations of numerical spectrum analysis. In: HARRIS B (Ed.) Advanced Seminar on Spectral Analysis of Time Series. New York.
- WAHR JM (1988) The Earth's rotation. Annual Review of Earth and Planetary Sciences 16, 231–249.
- WALKER JCG & ZAHNLE KJ (1986) Lunar nodal tide and distance to the Moon during the Precambrian. Nature *320*, 600–602.
- WEEDON GP (2003) Time-series analysis and Cyclostratigraphy. Cambridge.
- WELLS JW (1963) Coral growth and geochronometry. Nature 197, 948–950.
- WELLS JW (1966) Paleontological evidence of the rate of the Earth's rotation. In: MARSDEN BG & CAMERON AGW (eds.) The Earth-Moon System. Proceedings of an international conference held January 20–21, 1964, 70–81.
- WELLS JW (1970) Problems of annual and daily growth-rings in corals. In: RUNCORN SK (ed.) Palaeogeophysics, 3– 9.
- WHYTE MA (1975) Time, tide and the cockle. ROSENBERG GD & RUNCORN SK (eds.) Growth Rhythms and the History of the Earth's Rotation. London, 177–189.
- WILLIAMS GE (1989) Tidal rhythmites: geochronometers for the ancient Earth-Moon system. Episodes 12, 162– 171.
- WILLIAMS GE (1997) Precambrian length of day and the validity of tidal rhythmite paleotidal values. Geophysical Research Letters 24(4), 421–424.
- WILLIAMS GE (2000) Geological constraints on the Precambrian history of Earth's rotation and the Moon's orbit. Reviews of Geophysics *38*, 37–59.
- WILLIAMS JG & BOGGS DH (2016) Secular tidal changes in lunar orbit and Earth rotation. Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy 126, 89–129.

Anmerkung: Die Übersetzung der verwendeten Zitate erfolgte durch den Verfasser.

# Impressum

Studiengemeinschaft Wort und Wissen e. V. Geschäftsstelle Rosenbergweg 29, 72270 Baiersbronn Tel.: 07442-81006 E-Mail: sg@wort-und-wissen.de Internet: www.wort-und-wissen.org