

Das Zeitskalenproblem

Michael Sarnthein¹ & Wolf Christian Dullo²

¹Universität Kiel

²GEOMAR, Kiel

Die Geowissenschaften sind die einzige Naturwissenschaft, die von Beginn an ihre Fragen unter dem Gesichtspunkt quantitativer Zeitachsen betrachtet. Zunächst unbewusst und bis heute noch durch unterschiedliche Techniken erzwungen, werden die Zeitachsen mit zunehmenden Alter in unserem Denkmuster perspektivisch verkürzt. Dementsprechend gliedert sich dieser Beitrag zur Chronologie der Klimavariabilität in vier unterschiedliche Typen von Zeitskalen. Die Bedeutung hochpräziser Zeitskalen für die Klimaforschung liegt auf zwei Gebieten: 1. Um bei regionalen und globalen Vergleichen wirklich gleichzeitige Signale vergleichen zu können und 2. um über zeitliche Vor- und Nacheffekte der Klimaurrsachen und -folgen auf die Spur zu kommen.

1) **Annuelle bis wöchentliche Zeitskalen** bauen auf folgenden *Probenmaterialien* auf:

- Baumringe (bis 11,5 ka etabliert)
- Sedimentwarven (bis 14,5 ka etabliert, in Arbeit bis 70 ka/125 ka)
- Eiswarven (bis 52 ka etabliert)
- Salzwärven (im Perm über 260.000 Jahre ausgezählt)
- Korallenringe (bis ca. 1 ka etabliert, abschnittsweise unbegrenzt)

Die annuellen Zeitreihen enthalten eine Reihe zunehmend gut definierter *Periodizitäten*, wie ENSO, NAO und Sonnenflecken, die zukünftiges Potential für Datierungen geben.

Probleme liegen bei all diesen Methoden in der Fehlidentifikation der

Einzellagen, die unter Umständen nicht auf annuelle, sondern intra-annuelle Ereignisse zurückgehen.

2a) Die ¹⁴C-Zeitskala

ist bis gegen 55 ka etabliert, in seltenen Fällen bis gegen 70 ka. Die zeitliche *Auflösung* liegt bei AMS ¹⁴C Altern bei 0,5 % im Idealfall.

Probenmaterialien sind organischer und Karbonat-Kohlenstoff (je 1 mg).

Hauptprobleme liegen in der nicht-linearen Korrelation zu astronomischen Jahren, verbunden mit zeitweise extrem hohen (bis ? 7 ka) und extrem raschen Fluktuationen parallel zu Schwankungen im Erdmagnetismus. Weiter stören der unterschiedliche Austausch zwischen den Kohlenstoffreservoirs in Ozean und Atmosphäre sowie die ozeanischen Reservoiralter, die bis zu 2,5 ka schwanken können.

2b) Die U/Th-Zeitskala

(mit TIMS gemessen) überlappt mit der ¹⁴C-Zeitskala und ist bis gegen 450 ka etabliert. Die zeitliche *Auflösung* beträgt ca 1 % im Idealfall.

Als *Probenmaterial* dienen vor allem biogene Aragonitskelette und nichtbiogene aragonitische Fällungsprodukte (Höhlenkarbonate) von mehr als 10 mg?. Die *Probleme* liegen in der Verunreinigung und Umwandlung des Aragonits.

3) **Milankovitch und Sub-Milankovitch Zeitskalen**

sind wie die Jahreszyklen als einzige mit robusten Klimazyklen ursächlich verknüpft. Die Zeitskalen wurden erfolgreich über die letzten 14 Ma etabliert,

Zeitskalen bis vor ca 100 Ma sind in Arbeit (z. B. Eozän, Kreide, Jura). Die Eichung dieser Skalen erfolgte ursprünglich im wesentlichen an marinen $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven, mittlerweile erfolgreich an nahezu sämtlichen anderen Sedimentparametern ("Labeyrie-Regel").

Die zeitliche *Auflösung* beträgt 20/40 ka, die der "Schwarzacher-Bündeln" beträgt ca 100 ka. Für neuerdings innerhalb der letzten 60 ka intensiv untersuchten Sub-Milankovitch-Zyklen beträgt sie 8,7/3,0/1,5 und 0,75 ka.

Notwendige Grundlage sind ungestörte Sediment-/Zeitserien mit mindestens mehr als drei aufeinanderfolgenden Zyklen und einer Probenauflösung von mindestens drei Punkten pro Zyklus.

Probleme liegen zum Teil in der unkritischen Bewertung von zyklischen Sedimenten sowie in der radiometrisch bestimmten Ausgangszeitkala. Hier können kleinste Änderungen massive Verschiebungen der Periodizitäten bewirken. Der herausragendste Beweis für die Qualität und Gültigkeit dieser Zeitmessung war die erfolgreiche Korrektur radiometrischer Alter jungneogener Magnetfeldwechsel, die schließlich durch neuerliche radiometrische Messungen bestätigt wurden.

4) Radiometrische und interpolierende Zeitskalen für die letzten 200 Ma.

Die wesentlichen physikalischen

Methoden sind:

- Ar/Ar (bis ca. 150 Ma; Auflösung: wenige ka, Probenmaterial: Hornblende, Feldspat (für K))
- Be10 (bis knapp 15 Ma; Probenmaterial Mn-Krusten)
- ESR und TL-Alter (bis ca. 400 ka; Probenmaterial, Löß, Aragonit; Probleme liegen in der großen Fehlerbreite)
- Magnetostratigraphie (anwendbar bis Oxford, ca 155 Ma; zeitliche Auflösung zwischen 0,1 bis 1 ka; Probleme der zeitlichen Eichung im Mesozoikum).
- Strontiumisotopenverhältnisse (anwendbar im jüngeren Paläogen und Neogen; Auflösung ca. 1 Ma) sind zugleich ein wichtiger Indikator für Klimanafachung durch CO_2 -Bindung.

Diverse andere Methoden umfassen:

- Biostratigraphische Altersfixpunkte (Auflösung 0,01 - 0,1 Ma im jüngeren Neogen und 0,5 - 1,0 Ma im Paleogen; Probleme in der zeitlichen Transgressivität bei den meisten Planktonarten bei geforderter hoher Auflösung und großer räumlicher Korrelation.
- Tephralagen (Vorteil: absoluter Einzeitigkeit)
- diverse "fishy methods": Aminosäuren, Terrassenfolgen, etc.