

## Die Entwicklung der Atmosphäre der Erde vor 2.5 Gigajahren Planetenentwicklung und Leben

**U. Langematz, M. Kunze, A. Hamann-Reinus,**  
Institut für Meteorologie, Freie Universität Berlin

### Kurzgefasst

- Das Klima der frühen Erde während des Archaikums vor 2.5 Milliarden Jahren vor heute wird modelliert.
- Die Untersuchung des Paradoxons der schwachen jungen Sonne mit dem EMAC-FUB zeigt, dass flüssiges Wasser bei einer Erhöhung des CO<sub>2</sub>-Gehalts um das 10-fache möglich ist..

Die Helmholtz Allianz 'Planetenentwicklung und Leben' beschäftigt sich mit Fragestellungen, die einen weiten Bogen spannen von der Entstehung eines Planetensystems, über die Voraussetzungen, die vorhanden sein müssen um die Entwicklung von Leben auf einem Planeten zu ermöglichen, bis zu den Möglichkeiten des Lebens zur dauerhaften Bewohnbarkeit des Planeten beizutragen. Die thematisch sehr weitgefächerten Fragen werden mit einem interdisziplinären Ansatz untersucht, bei dem Geologen, Biologen, Astronomen und Meteorologen zusammenarbeiten.

In diesem Teilprojekt der HGF-Allianz wird mit numerischen Simulationen die Entwicklung des Klimas der Erde während der Archaikums vor 3–2.5 Milliarden Jahren (Ga) vor Heute untersucht. Zum Einsatz kommt dabei das globale Klima-Chemie Modell EMAC-FUB (ECHAM MESy Atmospheric Chemistry) [1]. Das Klimamodell ECHAM bildet in dieser Modellkonfiguration das Basismodell. Es ist aus dem Wettervorhersagemodell des europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersage (ECMWF) hervorgegangen, und damit entsprechend komplex und rechenzeitintensiv. Die Modularität des Programms erlaubt es für die Untersuchungen relevante Module anzukoppeln, wie z.B. MECCA [4] das Modul zur Berechnung der atmosphärischen Chemie oder das Modul des Mischungsschichtozeans [3].

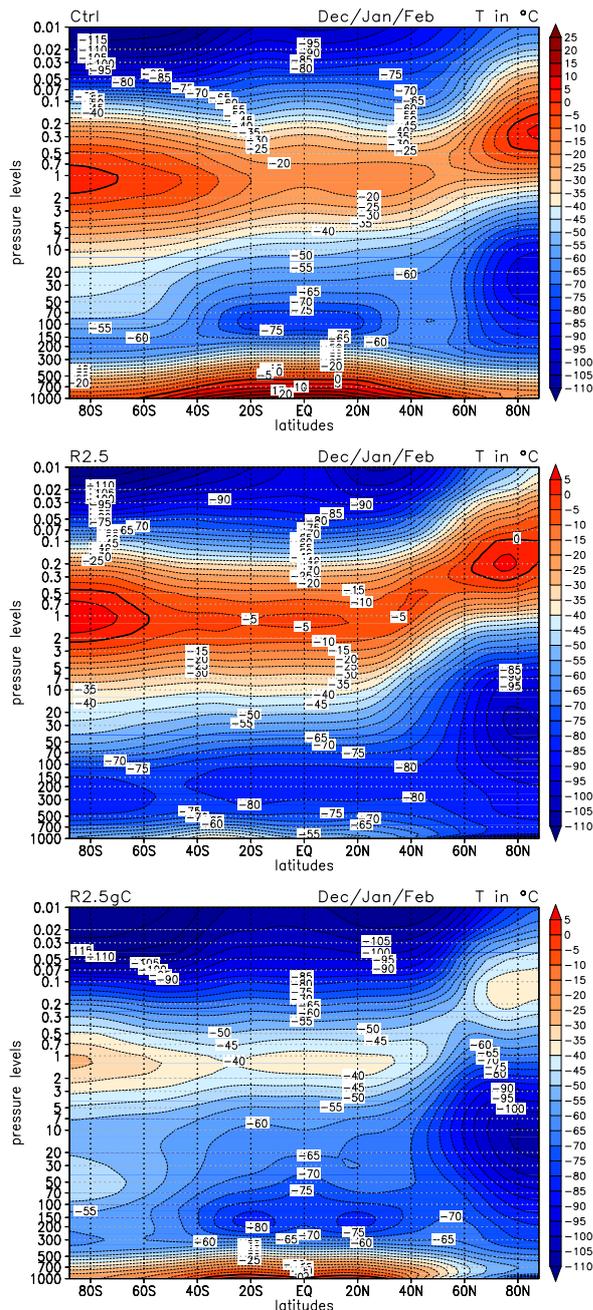
Die Zusammensetzung der Atmosphäre zur Zeit des Archaikums kann mit Hilfe der Analyse von Gesteinsfunden abgeschätzt werden. Trotz großer Unsicherheiten ergibt sich das Bild einer Atmosphäre mit hohen Konzentrationen von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und einem sehr geringem Sauerstoffanteil.

Wie die Erde hat auch unser Zentralstern, die Sonne, eine Entwicklung durchlaufen, die mit ihrem Standardmodell beschrieben werden kann. Demnach betrug die Leuchtkraft der Sonne vor 2.5

Ga nur etwa 82 % des heutigen Wertes. Die Folgen dieser schwachen jungen Sonne für die klimatischen Bedingungen auf der Erde wurden bereits in den 1970er Jahren mit einfachen Modellen abgeschätzt: bei Annahme der heutigen atmosphärischen Zusammensetzung, global gemittelte Temperaturen simuliert, die weit unter dem Gefrierpunkt von Wasser liegen. Diese Ergebnisse sind aber im Widerspruch zu geologischen Untersuchungen archaischer Gesteinsfunde, die die Existenz flüssigen Wassers auf der frühen Erde belegen. Durch die Erhöhung der Konzentration des Treibhausgases CO<sub>2</sub> kann die Oberflächentemperatur erhöht werden. Die meisten Modelle erfordern aber CO<sub>2</sub>-Konzentrationen, die außerhalb der aus Gesteinsfunden abgeschätzten Werte liegen.

Das auch als Paradoxon der schwachen jungen Sonne bekannte Phänomen wird in unserem Projekt mit dem EMAC-FUB untersucht. Als Proxystern für die junge Sonne wird der Zwergstern  $\beta$ -com gewählt, der mit einem Alter von 2.1 Ga mit der Sonne während des Archaikums vergleichbar ist. Das Auffällige am solaren Spektrum einer jungen Sonne ist der, verglichen mit der heutigen Sonne, höhere Anteil an UV-Strahlung. Im sichtbaren und nahen Infrarot dagegen ist die solare Einstrahlung gegenüber der heutigen Sonne deutlich reduziert, was insgesamt zu einer geringeren totalen solaren Einstrahlung führt. Die hochauflösende Strahlungsparametrisierung für die solare Strahlung FUBRad [2], die im EMAC-FUB zur Anwendung kommt, ist besonders geeignet die Effekte einer modifizierten spektralen Verteilung der Einstrahlung zu simulieren.

Abbildung 1 zeigt den Effekt der reduzierten Einstrahlung einer jungen Sonne auf die zonal gemittelte Temperatur bei heutiger atmosphärischer Zusammensetzung (R2.5) und erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentration (R2.5C) im Vergleich zu einem Modelllauf mit heutiger solarer Einstrahlung (Ctrl). Die Simulationen sind mit einem Mischungsschichtozean durchgeführt, unter der Annahme eines globalen Ozeans. Da die totale solare Einstrahlung deutlich vermindert ist, kommt es erwartungsgemäß zu einer starken Abkühlung in der Troposphäre und der Ausbildung eines komplett zugefrorenen Ozeans. In der Stratosphäre, die durch die Absorption von kurzweiliger Strahlung durch Ozon und Sauerstoff erwärmt wird, kommt es dagegen zu einer Erwärmung, da die junge Sonne besonders im UV-Bereich des solaren Spektrums deutlich intensiver strahlt.



**Abbildung 1:** Dezember/Januar/Februar Langzeitmittel (20 Jahre) der zonal gemittelten Temperatur für ausgewählte Modellsimulationen mit einem die ganze Erde bedeckenden Mischungsschichtozean: (Ctrl) mit heutiger solarer Einstrahlung; (R2.5) mit angepasster, spektral aufgelöster solarer Einstrahlung für 2.5 Ga; (R2.5C) wie R2.5 mit  $10\times\text{CO}_2$ .

Bei einer Verzehnfachung des  $\text{CO}_2$ -Gehalts sorgt der Treibhauseffekt für eine Erwärmung in der Troposphäre, so dass in den Tropen nun offenes Wasser zu finden ist. In der Stratosphäre dagegen sorgt das zusätzliche  $\text{CO}_2$  durch verstärkte Abstrahlung im langwelligen Spektralbereich für eine Auskühlung. Insgesamt kühlt sich die Stratosphäre ab, denn die Erwärmung durch die erhöhte UV-Strahlung wird durch die  $\text{CO}_2$ -Abkühlung mehr als kompensiert.

Neben diesen Experimenten zur solaren Einstrahlung und der atmosphärischen Zusammensetzung sind weitere Modellsimulationen in Vorbereitung, die andere Aspekte des Klimas der frühen Erde untersuchen.

### Mehr zum Thema

1. Jöckel, P. et al., The atmospheric chemistry general circulation model ECHAM5/MESSy1: consistent simulation of ozone from the surface to the mesosphere, *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 5067-5104, 2006.
2. Nissen, K., K. Matthes, U. Langematz und B. Mayer, Towards a better representation of the solar cycle in general circulation models, *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 5391-5400, 2007.
3. Roeckner, E., T. Siebert und J. Feichter, Climate response to anthropogenic sulfate forcing simulated with a general circulation model, In: *Aerosol forcing of climate*, Verlag JohnWiley & Sons, Chichester, New England, USA, 349-362, 1995.
4. Sander, R., A. Kerkweg, P. Jöckel und J. Leilieveld, Technical Note: The new comprehensive atmospheric chemistry module MECCA., *Atmos. Chem. Phys.*, 5, 445-450, 2005.
5. <http://www.dlr.de/pf/desktopdefault.aspx/tabid-4843>

### Förderung

HGF-Forschungsallianz 'Planetenentwicklung und Leben'