Kosmische Strahlen und Klima

geschrieben von Chris Frey | 25. Juni 2017

Das Ergebnis dieser Untersuchung der fünf vorherigen Perioden lautet, dass es bzgl. des Preises von Weizen möglich ist, dass eine zeitweilige Beeinträchtigung der Vegetation ganz allgemein aufgetreten war, als die Sonne ohne jene Erscheinungen war, von denen wir vermuten, dass sie Symptome einer starken Emission von Licht und Wärme sind.

[Link siehe unten]

Abbildung 1: Die Korrelation zwischen Sonnenaktivität – reflektiert durch den ^{14}C-Fluss und eine Variable der Klimasensitivität, nämlich das Isotopenverhältnis $^{18}O/^{16}O$ aus Stalagmiten einer Höhle in Oman im Zeitmaßstab von Jahrhunderten und Jahrtausenden. ^{14}C ist rekonstruiert aus Baumringen. Es ist eine Proxy der Sonnenaktivität, da eine aktivere Sonne einen stärkeren Sonnenwind aussendet, welcher den Fluss kosmischer Strahlen auf die Erde von außerhalb des Sonnensystems reduziert. Ein reduzierter Fluss kosmischer Strahlen wiederum wird die Aufsplittung von Stickstoff und Sauerstoff reduzieren mit der Bildung von ^{14}C. Andererseits reflektiert das Verhältnis $^{18}O/^{16}O$ die Temperatur des Indischen Ozeans – also die Wasserquelle, welche die Stalagmiten bildete. (*Graphik aus Neff et al., 2001, Copyright bei Nature*).

Viele Verstärker wurden in den Raum gestellt. Beispiel: UV-Strahlung wird weitgehend in der Stratosphäre absorbiert, so dass es zu merklichen stratosphärischen Änderungen kommt bei Änderungen der nicht thermischen Strahlung, welche von der Sonne ausgeht. Tatsächlich hat Joanna Heigh vom Imperial College in London vermutet, dass mittels dynamischer Kopplung mit der Troposphäre via Hadley-Zirkulation das solare Signal an der Erdoberfläche verstärkt werden kann. Wir interessieren uns hier für das, was ein viel indirekterer Link zwischen Sonnenaktivität und Klima sein kann.

Im Jahre 1959 hat Edward Ney von der University of Minnesota angenommen, dass jedwede Klimasensitivität bzgl. der Dichte troposphärischer Ionen sofort Sonnenaktivität und Klima verbinden werde. Und zwar weil der Sonnenwind den Fluss hoch energetischer Partikel von außerhalb des Sonnensystems moduliert. Diese Partikel, die kosmischen Strahlen, sind die dominierende Quelle von Ionisation in der Troposphäre. Genauer, eine aktivere Sonne erzeugt einen stärkeren Sonnenwind, welcher wiederum dazu führt, dass die dadurch erfolgende stärkere Streuung der kosmischen Strahlen diese Energie verlieren. Folglich resultiert daraus eine niedrigere troposphärische Ionisation. Mit dem 11-jährigen Sonnenzyklus und den langzeitlichen Variationen der Sonnenaktivität korrespondieren diese Variationen typischerweise mit einer Änderung dieser Ionisations-

Rate um 10%. Es scheint inzwischen, dass es eine Klimavariable gibt, die empfindlich auf die auf die Stärke der troposphärischen Ionisation reagiert – Wolken.

Abbildung 2: die kosmischen Strahlen als Link zwischen Sonnenaktivität und Erdklima. Die sich ändernde Sonnenaktivität ist verantwortlich für einen variierenden Sonnenwind. Ein stärkerer Sonnenwind reduziert den Fluss kosmischer Strahlen auf die Erde, da ein größerer Anteil an Energie verloren geht, wenn die Strahlen gegen den Sonnenwind vordringen. Die kosmischen Strahlen selbst kommen von außerhalb des Sonnensystems. Da kosmische Strahlen die troposphärische Ionisation dominieren, führt eine stärkere Sonnenaktivität zu einer reduzierten Ionisation und damit empirisch (wie unten gezeigt) auch zu einer reduzierten Bedeckung mit tiefen Wolken. Da tiefe Wolken insgesamt einen kühlenden Effekt aufweisen (ihr „Weiß-Effekt“ ist stärker als ihr „Decken-Effekt“), impliziert eine stärkere Sonnenaktivität ein wärmeres Klima. Inhärente [intrinsic] Fluss-Variationen kosmischer Strahlen haben einen ähnlichen Effekt, jedoch einen, der nicht in Beziehung steht zu Variationen der Sonnenaktivität.

Wolken wurden aus dem Weltraum seit Beginn der achtziger Jahre beobachtet. Bis Mitte der neunziger Jahre lagen genügend Wolkendaten vor, um einen empirischen Beweis für den Link Sonne/Wolkenbedeckung zu liefern. Ohne Satellitendaten ist es schwierig oder fast unmöglich, statistisch bedeutsame Ergebnisse zu bekommen infolge der großen systematischen Fehler, welche Beobachtungen vom Boden aus anhaften. Mittels der Satellitendaten hat Henrik Svensmark vom Danish National Space Center in Kopenhagen gezeigt, dass die Wolkenbedeckung sich synchron mit dem Fluss kosmischer Strahlen ändert, welche die Erde erreichen. Über die relevanten Zeiträume zeitigt der 11-jährige Sonnenzyklus die größten Variationen, und wirklich, diese Wolkenbedeckung scheint dem Zyklus zu folgen. Später haben Henrik Svensmark und sein Kollege Nigel Marsh gezeigt, dass die Korrelation primär bei der Bedeckung mit tiefen Wolken auftritt. Dies wird in Abbildung 3 erkennbar:

Abbildung 3: Die Korrelation zwischen dem Fluss kosmischer Strahlen (orange), gemessen mit einem Neutronenzähler in niedrigen magnetischen Breiten, und der Bedeckung mit tiefen Wolken (blau) gewonnen aus dem ISCCP-Satellitendatensatz. Nach *Marsh & Svensmark, 2003.*

Die Korrelation Sonnenaktivität – Fluss kosmischer Strahlen – Wolkenbedeckung ist ziemlich offensichtlich. Tatsächlich hatte Henrik Svensmark aufgrund seiner theoretischen Überlegungen danach gesucht. Allerdings kann die Verbindung zwischen kosmischen Strahlen und Klima nicht direkt bewiesen werden. Der Grund ist, dass man nicht die Möglichkeit ausschließen kann, dass die Sonnenaktivität den Fluss

kosmischer Strahlen und das Klima unabhängig voneinander beeinflusst ohne kausale Verbindung zwischen letzteren beiden. Allerdings gibt es einen separaten Beweis, dass es einen kausalen Link gibt zwischen kosmischen Strahlen und Klima, und dass kosmische Strahlen unabhängig davon einen Fingerabdruck bei den beobachteten Variationen der Wolkenbedeckung hinterlassen haben.

Zunächst einmal, zu Klimavariationen scheint es auch zu kommen durch intrinsische Variationen des Flusses kosmischer Strahlen, also von Variationen die nichts mit Modulationen durch die Sonnenaktivität zu tun haben. Dies beseitigt alle Zweifel, dass die beobachteten Korrelationen zwischen Sonnenaktivität und Wolkenbedeckung zufällig oder ohne kausale Verbindung vorhanden ist. Das heißt, die Möglichkeit, dass die Sonnenaktivität die kosmischen Strahlen und das Klima unabhängig voneinander moduliert dergestalt, dass wir *glauben*, dass kosmische Strahlung und Klima in Zusammenhang stehen, wenn dies tatsächlich nicht der Fall ist, wird eliminiert. Kosmische Strahlenfluss-Variationen werden auch verursacht durch das sich ändernde Umfeld um das Sonnensystems bei seinem Weg um die Milchstraße. Diese Variationen scheinen einen paläoklimatischen Abdruck in den geologischen Aufzeichnungen hinterlassen zu haben.

Kosmische Strahlen, zumindest mit einer Energie unter 10^{15}eV, werden durch Überbleibsel von Supernovae beschleunigt. In unserer Galaxie sind die meisten Supernovae die Folge des Todes massereicher Sterne. In Spiralgalaxien wie der unseren bilden sich die meisten neuen Sterne in den Spiralarmen. Hierbei handelt es sich um Wellen, welche sich um die Galaxie mit einer anderen Geschwindigkeit entwickeln als sich die Sterne bewegen. Jedes Mal, wenn eine Welle durchgeht, wird das interstellare Gas angeregt und bildet neue Sterne. Massereiche Sterne, die ihr Bestehen mit einer Supernova-Explosion beenden, haben eine relativ kurze Lebensdauer von höchstens 30 Millionen Jahren, gehen also zugrunde nicht weit entfernt von den Spiralarmen, in denen sie entstanden sind. Als Folge werden die meisten kosmischen Strahlen in der Umgebung von Spiralarmen beschleunigt. Das Sonnensystem hat jedoch eine viel längere Lebensdauer, so dass es periodisch die Spiralarme der Milchstraße durchläuft. Jedes Mal, wenn dies der Fall ist, sollte ein erhöhtes Niveau kosmischer Strahlen beobachtet werden. Tatsächlich sind die Variationen des Flusses kosmischer Strahlen infolge unserer galaktischen Reise zehn mal größer als die Variation dieses Flusses durch Modulationen der Sonnenaktivität, jedenfalls bei den Energien, die für die troposphärische Ionisation verantwortlich sind (in einer Größenordnung von 10 GeV). Falls Letzteres verantwortlich ist für einen 1 K-Effekt, sollte das Durchlaufen eines Spiralarmes verantwortlich sein für einen 10 K-Effekt – mehr als genug, um den Zustand unserer Erde zu ändern von einem Treibhaus mit moderatem Klima bis zu den Polen, zu einem Kühlschrank mit Eiskappen an den Polen, so wie es heute der Fall ist. Tatsächlich geht man davon aus, dass dies der dominanteste Klimatreiber ist im Zeitmaßstab von 10^8 bis 10^9 Jahren.

Der Autor hat gezeigt (Shaviv 2002, 2003), dass diese intrinsische Variation des Flusses kosmischer Strahlen eindeutig aus den geologischen Paläoklima-Daten hervorgeht. Innerhalb der Berechnungen von Periode und Phase der Verbindung Spiralarme – Klima stimmen die astronomischen Berechnungen der relativen Geschwindigkeit überein mit den geologischen Aufzeichnungen in Sedimenten, als die Erde sich in Treibhaus- oder Eishaus-Bedingungen befand. Außerdem zeigte sich, dass der Fluss kosmischer Strahlen unabhängig davon rekonstruiert werden kann mittels des so genannten „*exposure ages*“ von Eisenmeteoriten. Es zeigte sich, dass das Signal einerseits mit den astronomischen Vorhersagen übereinstimmte als auch andererseits mit den Sediment-Aufzeichnungen korrelierte, alles mit einer Periode von rund 145 Millionen Jahren.

Abbildung 4: Ein Eisenmeteorit. Eine große Anzahl dieser Meteoriten kann herangezogen werden, um die Variationen des Flusses kosmischer Strahlen in der Vergangenheit zu rekonstruieren. Das rekonstruierte Signal zeigt eine Periodizität von 146 Millionen Jahren. Der hier abgebildete Meteorit ist Teil des Sikohte Alin-Meteoriten, der Mitte des 20. Jahrhunderts in Sibirien niedergegangen ist. Das *exposure age* des Meteoriten impliziert, dass er von seinem Mutterbrocken vor etwa 300 Millionen Jahren abgebrochen war.

In einer nachfolgenden Analyse zusammen mit Jan Veizer von der University of Ottawa und der Ruhr-Universität Bochum zeigte sich, dass die Rekonstruktion des Flusses kosmischer Strahlen übereinstimmte mit einer quantitativen Rekonstruktion der Temperatur in den Tropen (Shaviv & Veizer, 2003). Tatsächlich ist die Korrelation so stark, dass man zeigen konnte, dass Variationen des Flusses kosmischer etwa zwei Drittel der Varianz im rekonstruierten Temperatursignal erklären konnte. Folglich beeinflussen kosmische Strahlen zweifelsfrei das Klima und sind in geologischen Zeiträumen der dominanteste Klimatreiber.

Abbildung 5: Korrelation zwischen der Rekonstruktion des Flusses kosmischer Strahlen (auf der Grundlage des *exposure ages* von Eisenmeteoriten) und der rekonstruierten tropischen Temperatur. Der Vergleich zwischen den beiden Rekonstruktionen belegt die dominante Rolle der kosmischen Strahlung und der galaktischen „Geographie“ als Klimatreiber über geologische Zeiträume. *(Shaviv & Vezier 2003)*

Abbildung 6: Eine Zusammenfassung der 4 verschiedenen Signale, welche den Link kosmische Strahlen – Klima über geologische Zeiträume belegen. Eingezeichnet sind Periode und Phase (des erwarteten Höhepunktes der Kälte) von zwei extraterrestrischen Signalen (nämlich astronomische Berechnungen der Geschwindigkeit der Spiralarme und Rekonstruktion kosmischer Strahlen via Eisenmeteoriten) sowie zwei paläoklimatische

Rekonstruktionen (Sedimente und geochemische Aufzeichnungen). Alle vier Signale sind konsistent miteinander, was die Stärke der Verbindung demonstriert. Falls irgendein Datensatz außen vor gelassen wird, sollte der Link immer noch existieren.

Jüngst wurde von Ilya Usoskin von der University of Oulu, Nigel Marsh vom Danish Space Research Center und ihren Kollegen gezeigt, dass die Variation der Menge tiefer Wolken den Erwartungen einer Verbindung zwischen kosmischen Strahlen/Wolkenbedeckung entspricht (Usoskin et al., 2004). Im Einzelnen stellte sich heraus, dass die relative Änderung der Bedeckung mit tiefen Wolken proportional ist zur relativen Änderung der solar induzierten atmosphärischen Ionisation an den gegebenen geomagnetischen Breiten und in der Höhe der Wolken (bis zu 3 km). Im Einzelnen: in höheren Breiten waren die Ionisations-Variationen etwa doppelt so groß wie in niedrigen Breiten, und die Variationen tiefer Wolken waren allgemein ebenfalls doppelt so groß.

Folglich sieht es jetzt so aus, als ob die empirischen Beweise für eine Verbindung zwischen kosmischen Strahlen und Wolkenbedeckung vielfältig sind. Gibt es aber einen physikalischen Prozess, der dies erklärt? Die Antwort lautet: Obwohl es Hinweise darauf gibt, wie diese Verbindung funktioniert, gibt es noch kein solides Szenario, zumindest keines, welches auf soliden experimentellen Ergebnissen beruht.

Trotz einer Sättigung über 100%, wenn die bevorzugte Phase von Wasser die flüssige Phase ist, kann der Wasserdampf nicht kondensieren, wenn ihm keine Oberfläche für die Kondensation zur Verfügung steht. Damit sich also Wolkentröpfchen in der Atmosphäre bilden können, muss die Luft Kondensationskerne enthalten – kleine Staubpartikel oder andere Aerosole, an denen der Wasserdampf kondensieren kann. Bei einer Änderung der Dichte dieser Partikel können die Eigenschaften der Wolken variieren. Gibt es mehr Kondensationskerne, gibt es auch mehr, jedoch kleinere, Wassertröpfchen. Dies neigt zur Bildung hellerer und längerlebiger Wolken. Dieser Effekt wurde in Rauchfahnen stromabwärts nachgewiesen ebenso wie stromabwärts hinter Städten und auf den Ozeanen in Gestalt von Schiffsspuren in der maritimen Wolkenschicht.

Die hier präsentierte Hypothese lautet, dass in Regionen frei von Staub (z. B. über großen ozeanischen Becken) die Bildung von Wolken-Kondensationskernen über das Anwachsen kleiner Aerosol-Cluster erfolgt dergestalt, dass geladene Aerosol-Cluster stabiler sind und anwachsen können, während neutrale Cluster ohne Ladung einfacher zerfallen können. Viele experimentelle Ergebnisse deuten auf eine Stützung dieser Hypothese, beweisen sie aber noch nicht. Zum Beispiel haben Frank Arnold et al. an der Universität Heidelberg Luft auf Flügen eingefangen und herausgefunden, dass wie erwartet große Cluster eine wichtige Rolle spielen bei der Bildung kleiner Kondensationskerne. Es muss noch überprüft werden, dass die kleinen Kondensationskerne durch Anlagerung wachsen und nicht durch Aufnahme durch größere Objekte. Falls der erste Prozess dominant ist, würde de Ladung und damit die Ionisation durch

kosmische Strahlen eine wichtige Rolle spielen bei der Bildung von Wolken-Kondensationskernen.

Eine der vielversprechendsten Aussichten, den „missing Link“ zu beweisen, ist das SKY-Experiment, welches am Danish National Space Center durchgeführt wird, wo eine echte „Wolkenkammer“ die Bedingungen in der Atmosphäre nachahmt. Dies enthält beispielsweise auch variierende Niveaus von Hintergrund-Ionisation und Aerosol-Niveaus (Schwefelsäure im besonderen). Innerhalb weniger Monate wird das Experiment hoffentlich Aufschluss über die physikalischen Prozesse geben, welche für den offensichtlichen Link zwischen Wolkenbedeckung und damit das Klima allgemein einerseits und kosmischen Strahlen andererseits verantwortlich sind; und weil Letztere durch den Sonnenwind beeinflusst werden, muss auch der Zusammenhang mit der Sonnenaktivität betrachtet werden.

Abbildung 7: Das SKY-Experiment in der Wolkenkammer des *Danish National Space Center*. Das Experiment wurde durchgeführt mit dem Ziel, die Mikrophysik hinter dem Link kosmische Strahlen/Wolkenbedeckung zu erhellen mittels verschiedener empirischer Korrelationen. Von Links nach rechts: Nigel Marsh, Jan Veizer, Henrik Svensmark. Hinter der Kamera: der Autor.

Die Implikationen dieser Verbindung sind weitreichend. Nicht nur, dass der Link impliziert, dass über verschiedene Zeitmaßstäbe die Variationen der Sonnenaktivität oder Änderungen der galaktischen Umgebung die prominenten, wenn nicht dominanten Klimatreiber sind, sondern auch, dass eine Erklärung angeboten wird für zumindest einen Teil der Klimavariabilität, welche im vorigen Jahrhundert und Jahrtausend beobachtet worden ist. Im Besonderen sollte nicht die gesamte globale Erwärmung des 20. Jahrhunderts anthropogenen Quellen zugeordnet werden, erklärt doch die verstärkte Sonnenaktivität mittels dieses Links über die Hälfte dieser Erwärmung.

Weitere Informationen:

1. Ein allgemeiner Beitrag zum Link kosmische Strahlen/Klima über geologische Zeiträume hier.

2. Die Website von Henrik Svensmark hier einschließlich zahlreicher Veröffentlichungen zu diesem Link.

3. Über die erwarteten Ergebnisse des dänischen SKY-Experimentes wird auf ihrer Website innerhalb mehrerer Monate berichtet.

Anmerkungen und Referenzen:

1. Zur ersten Vermutung, dass die solare Variabilität das Klima beeinflussen könnte, siehe William Herschel, *„Observations tending to investigate the nature of our sun, in order to find causes or symptoms*

of its variable emission of light and heat“, Phil. Trans. Roy. Soc. London, 91, 265 (1801). Man beachte, dass Herschel den Verdacht hatte, dass es Variationen im Gesamt-Output sind, welche das Klima beeinflussen (und damit auch die Preise für Weizen).

2. Die vielleicht schönste Korrelation zwischen Proxies der solaren Variabilität und des Klimas können in der Arbeit von U.Neff et al gefunden werden: *„Strong coherence between solar variability and the monsoon in Oman between 9 and 6 kyr ago*“, Nature 411, 290 (2001).

3. Eine weitere schöne Korrelation zwischen Sonnenaktivität und Klima findet sich in der Arbeit von G. Bond et al: *„Persistent Solar Influence on North Atlantic Climate During the Holocene*“, Science, 294, 2130-2136, (2001).

Zur Korrelation zwischen kosmischer Strahlung und Wolkenbedeckung:

1. Die Studie von Henrik Svensmark berichtet über die Korrelation zwischen den Variationen des Flusses kosmischer Strahlen CRF) und Änderungen der Wolkenbedeckung: H. Svensmark: *„Influence of Cosmic Rays on Earth’s Climate*“, Physical Review Letters 81, 5027 (1998).

2. Die spezifische Korrelation mit der Bedeckung mit tiefen Wolken wird diskutiert in: N. Marsh und H. Svensmark, *„Low Cloud Properties Influenced by Cosmic Rays*“, Physical Review Letters 85, 5004 (2000).

3. Weitere Analysen einschließlich der Rolle von CRF-Variationen vs. El Nino finden sich in N. Marsh und H. Svensmark, „Galactic cosmic ray and El Niño-Southern Oscillation trends in International Satellite Cloud Climatology Project D2 low-cloud properties“, J. of Geophys. Res., 108(D6), 6 (2003).

4. Die Analyse, welche die geographische Signatur der CRF-Variationen in den Variationen der Bedeckung mit tiefen Wolken hinterlässt, findet sich in: I. Usoskin et al., *„Latitudinal dependence of low cloud amount on cosmic ray induced ionization*“, Geophysical Research Letters 31, L16109 (2004).

Zu kosmischer Strahlung/Klima-Korrelationen über geologische Zeiträume:

1. Zur Vermutung, dass CRF-Variationen beim Durchlaufen von Spiralarmen zu einer Eiszeit-Epoche führen können, siehe: N. Shaviv, *„Cosmic Ray Diffusion from the Galactic Spiral Arms, Iron Meteorites, and a Possible Climatic Connection*“, Physical Review Letters 89, 051102, (2002).

2. Eine sehr detaillierte Analyse einschließlich der Rekonstruktion kosmischer Strahlung via Eisenmeteoriten findet sich in: N. Shaviv, *„The spiral structure of the Milky Way, cosmic rays, and ice age epochs on Earth*“, New Astronomy 8, 39 (2003).

3. Die Analyse von Shaviv & Veizer zeigt die primäre Bedeutung von CRF-

Variationen in geologischen Zeitmaßstäben und bilden damit ein Limit der Klimasensitivität: N. Shaviv & J. Veizer, *„A Celestial driver of Phanerozoic Climate?“*, GSA Today 13, No. 7, 4, 2003.

Link: http://www.sciencebits.com/CosmicRaysClimate

Übersetzt von Chris Frey EIKE