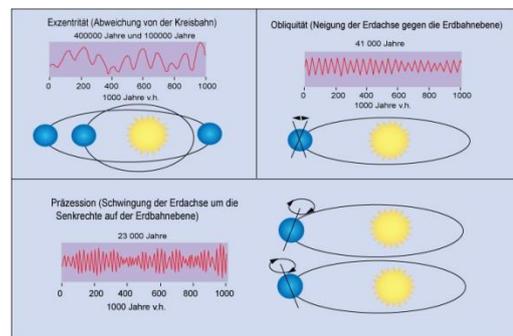
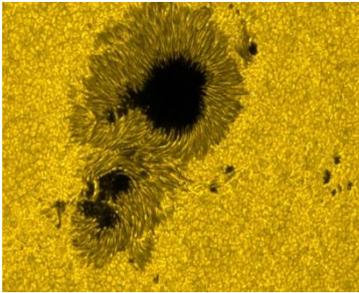


Wie groß ist der Einfluss der Sonne auf das Klima?

Untersuchung der lang- und kurzfristigen Änderungen der Sonnenintensität



Jugend-forscht-Arbeit 2013

Birte Dening und Malin Lindholm

Stadtteilschule Bergstedt

März 2013

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	2
2. Einfluss und Veränderungen der Einstrahlung durch die Sonne.....	2
2.1. Langfristige Änderungen der Sonnenintensität: Veränderung der Erdbahnparameter.....	2
2.1.1. Einfluss der Exzentrizität.....	3
2.1.2. Einfluss der Obliquität.....	4
2.1.3. Einfluss der Präzession.....	5
2.1.4. Zusammenhang mit der Eiszeit.....	7
2.2. Kurzfristige Änderungen der Sonnenintensität: Sonnenflecken.....	8
2.2.1. Aufbau der Sonne.....	8
2.2.2. Sonnenflecken.....	9
2.2.2.1. Entstehung von Sonnenflecken.....	10
2.2.3. Auswirkungen auf das Klima.....	11
3. Fazit.....	14
4. Literatur- und Abbildungsverzeichnis.....	15

1. Einleitung

Der Klimawandel ist ein allgegenwärtiges Thema in den aktuellen Medien. In aller Munde erweckt die Diskussion, wer den Klimawandel verursacht, ein großes Interesse. Es scheint, als würde die Neugier nach der Ursache für den Klimawandel immer weiter steigen.

Neben den Einflüssen durch den Menschen, der insbesondere durch die Verbrennung fossiler Energieträger und die landwirtschaftliche Tätigkeit den Anteil an Treibhausgasen erhöht hat, gibt es natürliche Komponenten, die unser Klima bestimmen. Da die Sonne der größte Energielieferant unserer Erde ist, sollte man die Auswirkungen der Sonnenintensität auf das Klima nicht vergessen. Schwankungen der Intensität oder Veränderungen der Sonnenstrahlung können nicht ohne Folgen sein. Klimaskeptiker führen immer wieder an, dass die beobachteten Klimaschwankungen ein natürlicher Prozess sind, der ausschließlich auf den Einfluss der Sonne zurückzuführen ist. Doch wie groß ist der Einfluss der Sonne auf das Klima wirklich?

Im Rahmen dieser Arbeit beschäftigen wir uns mit der Sonne und ihren kurz- und langfristigen Auswirkungen auf das Klima. Dabei untersuchen wir hauptsächlich, welche Rolle die Sonnenflecken und die Veränderung der Erdbahnparameter spielen.

2. Einfluss und Veränderungen der Einstrahlung durch die Sonne

2.1. Langfristige Änderungen der Sonnenintensität: Veränderung der Erdbahnparameter

Die Umlaufbahn der Erde um die Sonne unterliegt leichten Schwankungen, die als Erdbahnparameter bezeichnet werden. Dieses Geschehen verläuft allerdings nicht immer gleichmäßig, da es viele Schwankungen durch die Anziehungskräfte anderer Planeten und des Mondes gibt. Die Schwankungen sind langfristige Änderungen und treten in verschiedenen Zeitabschnitten zwischen 10.000 und 100.000 Jahren auf. Sie können die Ursache für längerfristige Klimaänderungen sein und zu einer Abkühlung oder Erwärmung führen. Allgemein wird angenommen, dass die langfristigen Veränderungen der Erdbahnparameter eine wesentliche Ursache für die Schwankungen zwischen den Warm- und Kaltzeiten im Quartär sind.¹

¹ Kasang, Dieter (2012)

Erdbahnparameter hängen nicht mit den kurzfristigen, sich aus den Veränderungen der Sonnenflecken ergebenden, oder den sehr langfristigen Änderungen der Solarkonstante zusammen.² Sie beziehen sich nur auf das Zusammenspiel von Sonne und Erde, denn die Erde verändert ihre Neigung und ihre Umlaufbahn. Dadurch verändert sich die Sonnenstrahlungsintensität auf der Erde.³

Schon früh hatten die Eiszeitenforscher erkannt, dass es einen gleichmäßigen Wechsel zwischen Warm- und Kaltzeiten gibt und dass dafür die Erdbahnparameter verantwortlich sind. Der jugoslawische Geophysiker und Mathematiker Milutin Milankovitch versuchte als erster, die Abhängigkeit zwischen Eiszeiten und den Veränderungen der Erdbahnparameter darzustellen. Seine Theorie wurde als die Milankovitch-Theorie bekannt⁴, welche zumindest die längerfristigen Klimaschwankungen erklären kann. Es gibt drei Faktoren, die nach Milankovitch, die Strahlung der Sonne auf die Erde beeinflussen: die Exzentrizität, die Obliquität und die Präzession.

2.1.1. Einfluss der Exzentrizität

Die Erde kreist auf einer elliptischen Bahn um die Sonne. Diese liegt allerdings nicht genau in der Mitte der Umlaufbahn, sondern um 2,5 Millionen Kilometer zu einer Seite verschoben. Somit befindet die Erde sich mal im Aphel und mal im Perihel. Aphel bedeutet die weitere Entfernung von der Erde zur Sonne (152,5 Millionen Kilometer) und Perihel ist der Punkt, wo die Entfernung der Erde zur Sonne am geringsten ist (147,5 Millionen Kilometer).⁵ Heutzutage steht die Erde am 4. Juli im Aphel und am 2. Januar im Perihel.⁶

Etwa alle 100.000 Jahre verändert sich die Exzentrizität der Erde. Das heißt, dass sich die Form der Umlaufbahn der Erde um die Sonne periodisch verändert. Die Umlaufbahn schwankt zwischen einer Ellipse und einer Kreisform (siehe Abb. 1). Zurzeit läuft die Erde gegen den Uhrzeigersinn auf einer fast kreisförmigen Umlaufbahn. Die Form der Umlaufbahn

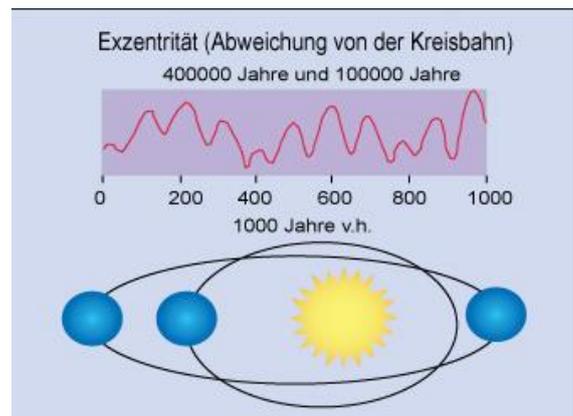


Abb. 1: Exzentrizität der Erde

(Quelle:

<http://wiki.bildungserver.de/klimawandel/upload/Erdbahnparameter.jpg>, zuletzt aufgerufen am 30.07.13)

² Ohne Autor (2010)

³ Ohne Autor (2006)

⁴ Vgl.: Lohnmann, Dieter (2002)

⁵ Ohne Autor 2 (2006)

⁶ Ramm, Bernd (ohne Jahr)

bewirkt eine Veränderung der Temperatur auf der Erde über einen längeren Zeitraum.⁷ Sie könnte also eine Erklärung für die Entstehung von Eiszeiten sein. Sie hat aber praktisch keinen Einfluss auf die Jahreszeitenunterschiede. Die Jahreszeitenunterschiede hängen also nicht von der Entfernung der Erde zur Sonne ab, denn die Exzentrizität wirkt auf die gesamte Erde. Sie hat einen Effekt von 2,4 W/m² der Solarkonstante.⁸

Ist die Exzentrizität stark, liegt also die Form der Umlaufbahn gleich einer Ellipse vor, sind die Temperaturunterschiede auf der Hemisphäre, die ihren Sommer im Perihel und ihren Winter im Aphel hat, sehr groß. Dem entsprechend hat die andere Hemisphäre ihren Sommer im Aphel und ihren Winter im Perihel. Somit sind ihre Temperaturunterschiede kleiner.⁹ Bei einer fast kreisförmigen Umlaufbahn ist die Intensität der Sonneneinstrahlung relativ gleich. Die Erde entfernt sich im Aphel nicht so weit von der Sonne.

Die Ellipse bewirkt außerdem eine Veränderung der Sommer- und Winterlänge, denn der Weg um die Sonne im Perihel ist kürzer als der Weg um die Sonne im Aphel. Zurzeit sind die Winter auf der Nordhalbkugel um acht Tage kürzer als ihre Sommer.¹⁰

2.1.2. Einfluss der Obliquität

Die Erdachse ist gegenüber der Senkrechten zur Erdbahn gekippt (siehe Abb.2), wodurch die nördliche Hemisphäre im Sommer der Sonne zugewandt ist. Zur gleichen Zeit ist die südliche Hemisphäre der Sonne abgewandt und befindet sich im Winter.

Die Erdachse steht heutzutage in einem Winkel von 23,4° zur Senkrechten der Erdbahn. Somit befindet sich der Himmelsäquator ebenfalls in einem Winkel von 23,4° zur Ekliptik. Dieser Winkel unterliegt allerdings Schwankungen zwischen etwa 21,8°-24,4°.

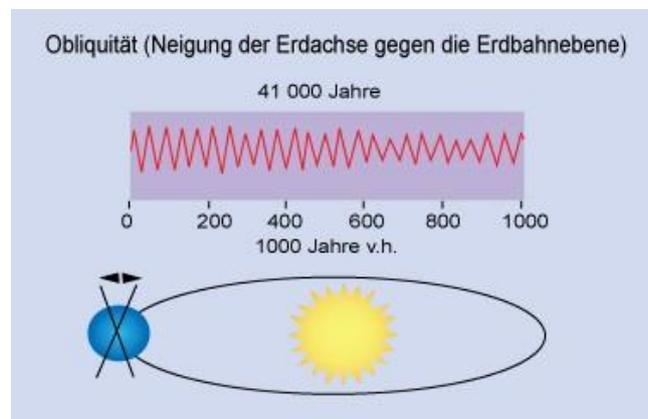


Abb. 2: Obliquität der Erde

(Quelle:

<http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/upload/Erdbahnparameter.jpg>, zuletzt aufgerufen am 30.07.13)

⁷ Ohne Autor (2006)

⁸ Kasang, Dieter (2012)

⁹ Ohne Autor (2006)

¹⁰ Urban, Karl (2011)

Diese Zahlen ändern sich aber nur ungefähr alle 40.000 Jahre und können somit eine Ursache für das Eiszeitalter gewesen sein. Die Obliquität hat einen Effekt von ca. 20 W/m^2 der Solarkonstante bei 50°N .¹¹

Ist der Winkel groß, also der Nord- oder Südpol weit von der Senkrechten der Erdbahn entfernt, so haben beide Erdhalbkugeln einen heißeren Sommer und einen kälteren Winter.¹² Bei einem kleinen Winkel sind somit die Sommer kühler und die Winter wärmer. Insgesamt gleicht sich die globale Mitteltemperatur allerdings aus.

2.1.3. Einfluss der Präzession

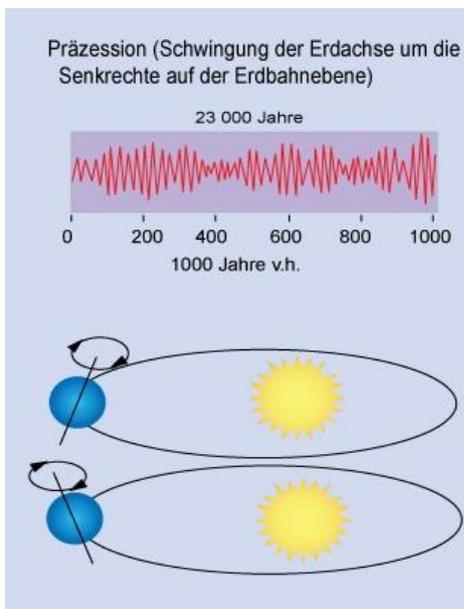


Abb. 3: Präzession der Erde

(Quelle:

<http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/upload/Erdbahnparameter.jpg>, zuletzt aufgerufen am 30.07.13)

Die Erdachse dreht sich auf Grund der Anziehungskraft von Mond und Sonne gegen den Uhrzeigersinn¹³ um die Senkrechte der Erdbahn. Dieser Vorgang tritt in einer Periode von 23.000 Jahren auf (siehe Abb. 3). Somit verändert sich langsam die jahreszeitliche Lage der Erde auf der Erdbahn.¹⁴ Die Präzession führt also dazu, dass mal der Nordwinter im Perihel liegt und mal der Nordsummer. Sie hat einen Effekt von 70 bis 100 W/m^2 der Solarkonstanten bei 50°N .¹⁵

¹¹ Kasang, Dieter (2012)

¹² Ohne Autor (2006)

¹³ Bertelsmann (2011)

¹⁴ Kasang, Dieter (2012)

¹⁵ Kasang, Dieter (2012)

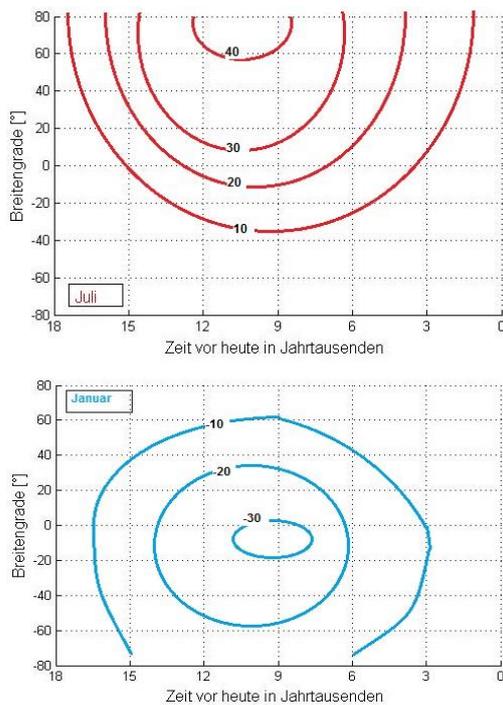


Abb. 4: Solare Einstrahlung in der Vergangenheit
 (Quelle: Eigene Darstellung nach Kutzbach, J.C. & Guetter, P.J. (1986): The Influence of Changing Orbital Parameters and Surface Boundary Conditions on Climate Simulations for the Past 18 000 Years Journal of Atmospheric Sciences, 43, S.1726-1759)

heißt, dass die Sommer kälter sind, da die Erde sich zu dem Zeitpunkt der Sonne nicht so weit annähert wie vor 11.000 Jahren im Sommer.

Die Abbildung vier zeigt den Strahlungsunterschied in den Monaten Juli und Januar von vor 18.000 Jahren bis zur heutigen Einstrahlung. Die roten und blauen Linien geben die eingestrahlte Energie in Watt pro m^2 an. Auf der y-Achse sind die Breitengrade, also die nördliche und südliche Entfernung vom Äquator, zu sehen. Die Zeit wird in Jahrtausenden vor heute angegeben. Aus der erhöhten bzw. erniedrigten Einstrahlung kann geschlossen werden, dass es vor 11.000 Jahren wesentlich wärmer im Sommer und wesentlich kälter im Winter war. Die Watt pro m^2 zu diesem Zeitpunkt lagen in Deutschland (50° N) im Sommer fast 40 Watt pro m^2 höher und im Winter fast 10 Watt pro m^2 niedriger als heute. Vor 11.000 Jahren hatte die Nordhalbkugel ihren Winter im Aphel und ihren Sommer im Perihel, somit war der Sommer deutlich wärmer und die Watt pro m^2 höher. Heute hat die Nordhalbkugel ihren Winter im Perihel und ihren Sommer in Aphel. Das

2.1.3. Zusammenhang mit der Eiszeit

Die Präzession, die Obliquität und die Exzentrizität der Erde sind zusätzlich ausschlaggebende Effekte für eine Eiszeit, denn sie reflektieren die Ursache von dem Wechsel zwischen Warm- und Kaltzeiten. Alle drei Effekte stehen in Abhängigkeit zueinander, wobei die Neigung und das Pendeln der Erdachse alleine für die Veränderung der Jahreszeiten verantwortlich sind.

Für die Entstehung einer Eiszeit allerdings ist die Einstrahlung der Sonne auf der Nordhalbkugel im Sommer entscheidend,¹⁶ da sich hier der überwiegende Teil der Landmasse befindet. Daher kann es nur auf der Nordhalbkugel zur Ausdehnung von Eismassen kommen. Auf der Südhalbkugel kann sich der antarktische Eisschild nicht weiter ausdehnen, da er vom Ozean umgeben ist. Hinzu kommt, dass sich Landmassen schneller erwärmen und daher schneller auf die veränderte Energiezufuhr reagieren. Die Wassermassen, die sich größtenteils auf der Südhalbkugel befinden, haben eine verzögerte Reaktion, da Wasser ein besserer Wärmespeicher ist als Land.

Im Sommer kommt es zu einer Abschmelzung des Eises, welches sich im Winter gebildet hat. Heute hat die Nordhalbkugel kühlere Sommer und wärmere Winter. In diesem Fall würde es zu keiner beziehungsweise nur einer geringen Abschmelzung kommen, da die Sommer nicht mehr warm genug sind und das Eis vom Winter nicht komplett abschmelzen kann. Die nächsten Winter bringen wieder neues Eis. Somit könnte bei kälter werdenden Wintern durch das vorhandene Eis und das neue Eis ein Eisschild entstehen. Ein solcher Eisschild baut sich über sehr viele Jahre auf, wodurch es zu einer höheren Rückstrahlung des Sonnenlichtes, einer höheren Albedo, kommt. Die Abkühlung wird verstärkt. Denn das auf das Eis treffende Sonnenlicht wird reflektiert und nicht wie das auf die Erde treffenden Sonnenlicht absorbiert und in Wärme umgewandelt. Die jetzige Stellung der Erdachse ist also eine gute Voraussetzung für eine Abkühlung.

Solange der Nordsommer dichter an der Sonne ist als der Nordwinter, bleiben die Sommer auf der Nordhalbkugel bei einer Ellipse warm genug, um ein Wachsen des Eises zu verhindern. Zusätzlich muss die Erdachse einen zur Sonne



Abb. 5: Die Wahrscheinlichkeit einer Eiszeit
(Quelle: <http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Eiszeitalter>, zuletzt aufgerufen am 30.07.2013)

¹⁶Kasang, Dieter 2 (2012)

gerichteten, großen Winkel haben (siehe Abb. 5).¹⁷

Vor 11.000 Jahren war die Stellung der nördlichen Hemisphäre so, dass es heißere Sommer und kältere Winter gab. Es kam zu einer deutlichen Erwärmung in Europa, Amerika und Asien und somit zum Ende der letzten Eiszeit.

Die voraussichtlich nächste Eiszeit könnte entstehen, wenn die Nordsommer bei einer Ellipse im Perihel liegen und die Erdachse sonnenabgewandt und einem kleineren Winkel ausgesetzt ist.

Die letzte Eiszeit war etwa vor 20.000 Jahren zu Ende. Zu dieser Zeit war es 5°C wärmer als heute, allerdings lässt sich dies nicht durch die Erdbahnparameter begründen, denn diese machen nur einen Wechsel von etwa 0,5°C aus. Heutzutage ist das Wasser kälter als damals und kaltes Wasser kann mehr Kohlenstoffdioxid aufnehmen. Das heißt, dass sich heute mehr Kohlenstoffdioxid im Wasser befindet und dafür weniger in der Atmosphäre. Das Sonnenlicht wird also nicht mehr so stark absorbiert und in Wärme umgewandelt wie vor 20.000 Jahren. Somit ist es heute kälter.

Die Erdbahnparameter erklären also nur einen kleinen Teil der Unterschiede zwischen Warm- und Kaltzeiten. Sie geben aber einen entscheidenden Anstoß für andere Effekte. Den größten Teil machen die Verstärkungseffekte durch Kohlenstoffdioxid und die Albedo aus.¹⁸

2.2. Kurzfristige Veränderungen der Sonnenintensität: Sonnenflecken

2.2.1. Aufbau der Sonne

Die Erdbahnparameter und ihre Verstärker erklären Klimaänderungen in Zeitdimensionen von mehreren Tausend Jahren. Sie sind aber nicht für Klimaschwankungen von Jahrzehnten und Jahrhunderten verantwortlich. Aber auch solche kurzfristigen Klimaschwankungen wie zum Beispiel die zwischen der Mittelalterlichen Warmzeit und der Kleinen Eiszeit können durch die Sonne verursacht sein und zwar durch Aktivitäten auf der Sonne selbst.

¹⁷Kasang, Dieter 3 (2012)

¹⁸Kasang, Dieter 3 (2012)

Die Sonne besteht aus heißen Gasen und setzt sich aus mehreren Schichten zusammen. In Abbildung 6 ist die Struktur der Sonne aufgezeigt. Der Kern der Sonne dient zur Energiegewinnung. Durch eine Kernfusion verschmelzen hier vier Wasserstoffkerne zu einem Heliumkern, wobei Energie erzeugt wird. Diese Energie wird

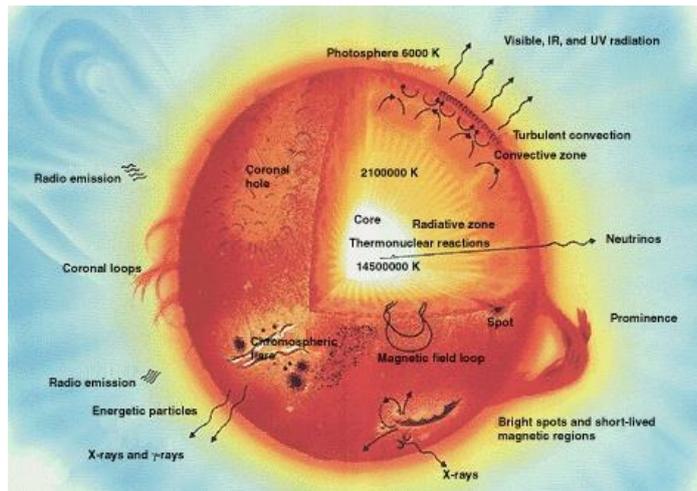


Abb. 6: Aufbau der Sonne

(Quelle: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/da/Sun_parts_big.jpg , zuletzt aufgerufen am 30.07.13)

über die Strahlungszonen, die den Kern der Sonne umschließen, an äußere Konvektionsschichten abgegeben. Durch den Vorgang von sogenannten Konvektionsströmen wird die Energie des Sonnenplasmas nach außen befördert. Von der Photosphäre, der Sonnenoberfläche, wird die Energie dann als Solarstrahlung, Wärme und Licht an den Weltraum abgegeben. Die Sonne wird umschlossen von der Chromosphäre, die als rötlicher Rand bei einer Sonnenfinsternis sichtbar wird und ihrem eigenem Strahlenkranz, der Korona.¹⁹

Aktivitäten auf der Sonne selbst, wie das Entstehen von Sonnenflecken, können eine Ursache für kurzfristige Klimaschwankungen sein. Dabei spielt das Sonnenplasma, welches eine hohe Leitfähigkeit besitzt, für den Aufbau von Sonnenflecken eine besonders wichtige Rolle.²⁰

2.2.2. Sonnenflecken

Kurzfristige Veränderungen der Intensität der Sonneneinstrahlung zeigen sich an den Sonnenfleckenzyklen. Einer der bekanntesten Zyklen ist der Schwabe-Zyklus, der ungefähr alle elf Jahre ein Maximum der Strahlungsleistung erreicht.²¹

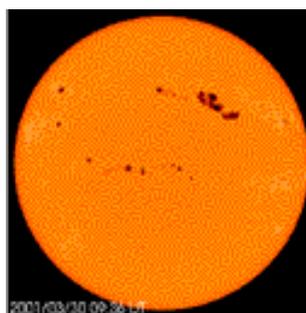


Abb. 7: Sonnenflecken

Gezeigt werden die Sonnenflecken als dunkle Stellen auf der Sonnenoberfläche (Quelle: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/3/31/Sunspotcloselyset%C2%B2.PNG> , zuletzt aufgerufen am 30.07.13)

Ein Sonnenfleck wird sichtbar als dunkle Stelle auf der Sonnenoberfläche, der Photosphäre, der eine geringere Lichtabstrahlung hat (siehe Abb.7).²² Die

¹⁹ Isermann, Reinke Sven (2005)

²⁰ Ohne Autor (ohne Jahr)

²¹ Kasang, Dieter 4 (2012)

²² Ohne Autor 2 (ohne Jahr)

Sonnenflecken wurden erstmals 1611 von Galileo Galilei über einen längeren Zeitraum untersucht. Die Häufigkeit der Sonnenfleckenaktivität in einer Periodenzeit von elf Jahren wurde jedoch erst durch die astronomischen Untersuchungen von Samuel Heinrich Schwabe in den Jahren 1828-1845 durch den nach ihm benannten Schwabe-Zyklus belegt.²³

2.2.2.1. Entstehung von Sonnenflecken

Sonnenflecken entstehen durch die Magnetfelder der Sonne, die sich unter der Sonnenoberfläche befinden. Die Energie, die durch die Kernfusion entsteht, wird als Sonnenplasma an die äußeren Sonnenschichten abgegeben. Diese Zirkulation des Sonnenplasmas lässt Magnetfelder entstehen.²⁴

Die Magnetfeldlinien und das Sonnenplasma liegen in der Konvektionszone. Die Intensität der Magnetfelder in der Konvektionszone steigt durch einen Rotationsrichtungswechsel der Magnetfeldlinien. Das liegt daran, dass die Sonnenoberfläche am Äquator in ca. 25 Tagen rotiert, wohingegen sie in der Nähe der Polen ca. 30 Tagen braucht.²⁵ Da bei der Rotation die Magnetfelder mitziehen, kommt es langsam zu einem Wechsel der Rotationsrichtung der Magnetfeldlinien. Sie verlaufen nun horizontal statt vertikal, was zur Folge hat, dass sich die magnetische Spannung weiter erhöht.

Je weiter der Sonnenfleckenzyklus fortschreitet, desto mehr werden die Magnetfeldlinien gestaucht und verdreht. Im Laufe des Zeit stechen die Magnetfeldlinien aus der Sonnenoberfläche heraus und es bilden sich Gasstrahlen, die bis zu 100.000 km über die Sonnenoberfläche reichen. Bei diesem Ausstoß bilden sich Sonnenflecken. Sie haben eine südliche, negative, und nördliche, positive Polarität, wodurch sie sich anziehen und Sonnenfleckengruppen entstehen lassen.^{26/27}

Bei einem Sonnenfleckenmaximum ist die Sonne von den Magnetfeldlinien fast komplett verdeckt. Die Magnetfeldlinien haben so viel Kraft, dass sie durch ihren wirren Richtungsverlauf den Aufstieg von Sonnenplasma aus dem Kern der Sonne verhindern.^{28/29} Daher wird von den Sonnenflecken weniger Solarenergie

²³ Ohne Autor (2012)

²⁴ Tilz, Sven (2012)

²⁵ Ohne Autor (ohne Jahr)

²⁶ Ohne Autor 6 (ohne Jahr)

²⁷ Ohne Autor 2 (2012)

²⁸ Ohne Autor 6 (ohne Jahr)

²⁹ Ohne Autor 2 (2012)

abgegeben. Sie kühlen auf ca. 1500°C ab und erscheinen dunkel im Vergleich zu der etwa 6000°C heißen Umgebung.³⁰

Alle elf Jahre (Schwabe-Zyklus) wird die Spannung der Magnetfelder wieder abgebaut, indem das Magnetfeld aus der Sonnenoberfläche sticht und nicht wieder zurück kommt. Es gibt dabei einen Materiestrom (Protuberanz), was bedeutet, dass sich durch eine Feuerfontäne Bögen in der Korona bilden. Dieser Vorgang ist die Umpolung der Magnetfelder, die zur Ordnung der Magnetfeldlinien führt.³¹ Bei einer Umpolung der Magnetfelder und gleichzeitig dem Beginn eines neuen elf jährigem Zyklus, kehrt sich die Polarität auf beiden Sonnenhalbkugeln ebenfalls um. Durch die Magnetfeldpolarität besteht ein kompletter Sonnenfleckenzyklus also eigentlich aus 22 Jahren.³² Der sogenannte Hale-Zyklus setzt sich aus zwei Schwabe-Zyklen zusammen und stellt den magnetischen Verlauf der Sonne in Beziehung zu den Sonnenflecken dar.³³

Je mehr Sonnenflecken die Sonne besitzt, desto höher ist ihre Strahlungsleistung. Neben dem Schwabe-Zyklus gibt es noch den Gleissberg-Zyklus mit einer Periode von ca. 80 Jahren mit längerfristigen Perioden von mehr oder weniger Sonnenflecken.

2.2.3. Auswirkungen auf das Klima

Die direkten Schwankungen der Solarstrahlung beeinflussen das Klima auf Zeitskalen von Jahrzehnten bis Jahrhunderten. So nimmt man an, dass die Mittelalterliche Warmzeit zwischen 1000 und 1300 durch eine Phase starker Sonnenfleckenaktivität bestimmt war. Besser kann man die Kleine Eiszeit zwischen dem 14. und 19. Jahrhundert durch geringere Sonnenfleckenzahlen erklären, da es aus dieser Zeit schon Beobachtungen der Sonnenflecken gab. So wurden während des sogenannten Maunder-Minimums, der kältesten Phase der Kleinen Eiszeit von 1645 bis 1715, so gut wie keine Sonnenflecken beobachtet.

Die Solarstrahlung beeinflusst auch die Ozonkonzentration in der Stratosphäre.³⁴ Ozon wird gebildet, in dem Sauerstoff-Moleküle durch energiereiche Strahlung in einzelne Atome gespalten werden und sich weiter mit einem Sauerstoff-Molekül zu Ozon verbinden.³⁵ Eine starke Sonnenabstrahlung bei vielen Sonnenflecken erhöht die Ozon-Konzentration in der Stratosphäre auf 2-3%. Die kurzweilige UV-Strahlung, wird beim Auftreffen auf das Ozon absorbiert und die Stratosphäre erwärmt sich. Eine Erwärmung in der Stratosphäre beeinflusst wiederum das Klima in der untersten Atmosphärenschicht, der Troposphäre. Seit Beginn der

³⁰ Knecht, Stephan (ohne Jahr)

³¹ Ohne Autor 2 (2012)

³² Ohne Autor (2000)

³³ Ohne Autor 4 (2012)

³⁴ Ohne Autor (2009)

³⁵ Ohne Autor 5 (2012)

Satellitenmessungen in der Stratosphäre wird jedoch nachgewiesen, dass die Temperaturen dort sinken. Grundsätzlich wirkt die UV-Strahlung mit auf die Ozonbildung ein und zeigt auch Temperaturschwankungen in der Stratosphäre. Dieser Effekt ist aber offensichtlich ohne Relevanz für das Klima in der Troposphäre.³⁶

Doch auch in den letzten 100 Jahren hat die Sonne das Klima beeinflusst. So war die globale Erwärmung in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts zum Teil durch eine zunehmende Sonneneinstrahlung bedingt, die wahrscheinlich auch der dominierende Faktor war. Bis etwa 1940 steht der Trend der Sonnenfleckenzyklen in Abhängigkeit von der Temperatur. Danach jedoch kommt es vor allem ab 1970 zu einem Anstieg der Temperatur unabhängig von der Anzahl der Sonnenflecken.

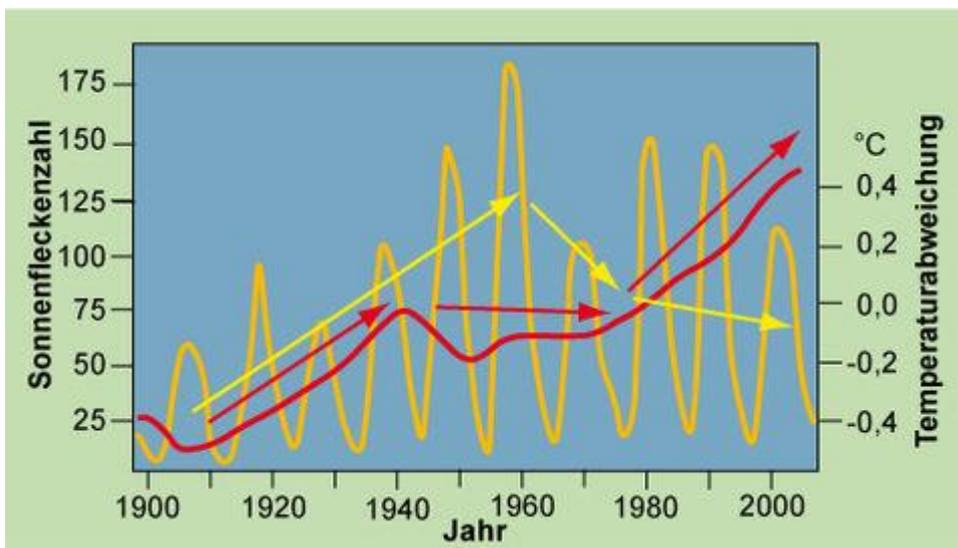


Abb. 8: Sonnenflecken und Temperaturentwicklung seit 1900

Gezeigt wird, dass die Temperaturentwicklung erst seit etwa 1940 unabhängig von der Anzahl der Sonnenflecken ist.

(Quelle: http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Datei:Temp_solar_20Jh.jpg, zuletzt aufgerufen am 30.07.2013)

³⁶ Ohne Autor (2009)

Auf der Abbildung zwölf sind die Schwankungen der Solarstrahlung des Schwabe-Zyklus in Gelb, als Monatsmittel dargestellt. Das letzte Sonnenfleckenmaximum lag etwa im Jahr 2000/2001. Von 1977 bis 1990 kann man einen Anstieg der Jahresmitteltemperatur analog zur Solarstrahlung beobachten. Mit der steigenden Jahresmitteltemperatur ab 1995 unterscheiden sich die Werte im Verhältnis zu der Solarstrahlung. Die Minima der Zyklen weisen in den letzten drei Jahrzehnten sogar eine leichte Abnahme auf. Es ist zu erkennen, dass der Temperaturtrend nicht in Abhängigkeit von der Solarstrahlung steht, dieser bleibt offensichtlich unbeeinflusst. Für die starke Erwärmung in den letzten Jahrzehnten lässt sich die Ursache der Sonnenaktivität vermutlich ausschließen.³⁷

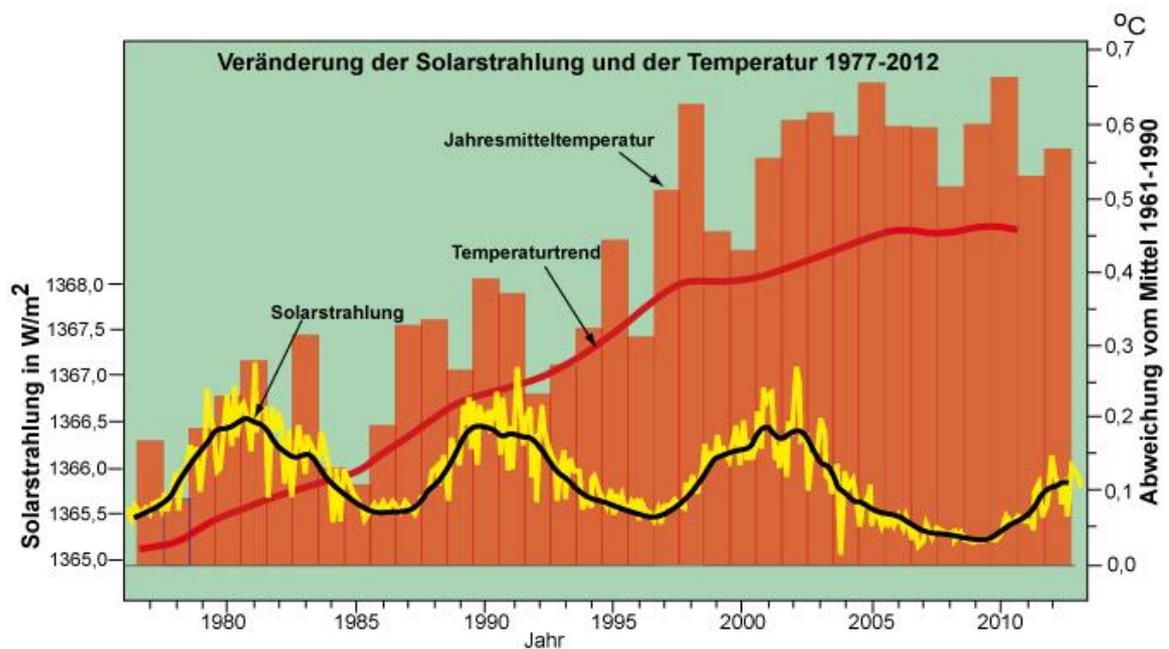


Abb. 9: Veränderung der Solarstrahlung und der Temperatur 1977-2006

(Quelle: <http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Datei:Solareinstrahlung1980.jpg>, zuletzt aufgerufen am 30.07.2013)

³⁷ Kasang Dieter 5 (2012)

3. Fazit

Aus unserer Arbeit geht hervor, dass die Sonne nicht die Hauptursache des zurzeit auftretenden Klimawandels sein kann. Beispielsweise verändern die Sonnenflecken die Intensität der Sonnenstrahlung während eines Zyklus um nur 0,1%.³⁸ Bei vielen Sonnenflecken ist die Sonnenabstrahlung und somit auch die Sonneneinstrahlung auf der Erde größer als bei wenigen beziehungsweise gar keinen Sonnenflecken. Sie machen nur Schwankungen von 3 W/m², von den 342 W/m² die auf die Erde treffenden, aus.

Ein relevanteres Thema hingegen sind die Veränderungen der Erdbahnparameter. Ist beispielsweise die Exzentrizität klein also gleich einer nahezu kreisförmigen Umlaufbahn ist die Sonneneinstrahlung relativ konstant. Anders als bei einer Ellipse. Dort ist die Einstrahlung auf der Erde unterschiedlich. Der Effekt liegt hier aber nur bei 2,4 W/m². Bei der Obliquität kommt es mit einem großen Winkel zu wärmeren Sommern also zu einer höheren Sonneneinstrahlung auf der Erde. Ein kleiner Winkel führt demnach zu kühleren Sommern. Hier liegt der Effekt bei ca. 20 W/m². Ganz anders die Präzession, denn diese macht einen Effekt von 70-100 W/m² aus. Befindet sich der Nordsummer dicht an der Sonne ist die Sonneneinstrahlung auf der Nordhalbkugel größer. Ist der Nordsummer sonnenentfernter so ist die Sonneneinstrahlung geringer.

Alle drei Veränderungen der Erdbahnparameter machen den Wechsel zwischen Warm- und Kaltzeiten im Eiszeitalter aus.³⁹ Allerdings bewegen sie sich in anderen Zeitdimensionen als der jetzige Klimawandel. Somit können wir aus unserer Arbeit schließen, dass die Sonne einen zu kleinen Einfluss hat, aber andere Effekte wie beispielsweise die Albedo oder das Treibhausgas Kohlenstoffdioxid anstößt.

³⁸ Ohne Autor (2009)

³⁹ Cubasch, Ulrich und Kasang, Dieter (2000)

4. Literatur- und Abbildungsverzeichnis

Literaturverzeichnis:

- Bertelsmann (2003): Ich sag dir alles, 1. Auflage, Gütersloh/München: Wissen Media Verlag, S. 54
- Bertelsmann (2011): Das neue Universal Lexikon, aktualisierte Neuauflage, Augsburg: Himmer AG, S. 577
- Böhm . Schweizer, Denise (ohne Jahr): Das Magnetfeld der Sonne
<http://www.astrokramkiste.de/sonne-aufbau>
Letzter Zugriff: 30.07.2013
- Cubasch, Ulrich und Kasang, Dieter (2000): Anthropogener Klimawandel, 1. Auflage, Stuttgart: Klett-Perthes, S. 14 f
- Faulhaber, Leopold (ohne Jahr): Stratosphäre
<http://www.awb1.ch/dat/s/stratosphaere.php>
Letzter Zugriff: : 30.07.2013
- Isermann, Reinke Sven (2005): Aufbau der Sonne
<http://www.mps.mpg.de/projects/soho/summer-lab/isermann/sonne.html>
Letzter Zugriff: : 30.07.2013
- Kasang, Dieter (2012): Erdbahnparameter
<http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Erdbahnparameter>
Letzter Zugriff: : 30.07.2013
- Kasang, Dieter 2 (2012): Sonneneinstrahlung und Klimaänderungen
http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Sonneneinstrahlung_und_Klima%C3%A4nderungen
Letzter Zugriff: : 30.07.2013
- Kasang, Dieter 3 (2012): Eiszeitalter
<http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Eiszeitalter>
Letzter Zugriff: : 30.07.2013
- Kasang, Dieter 4 (2012): Schwabe-Zyklus
<http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Schwabe-Zyklus>
Letzter Zugriff: : 30.07.2013
- Kasang, Dieter 5 (2012): Sonnenenergie . Form der Sonnenaktivität
<http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Sonnenenergie>
Letzter Zugriff: : 30.07.2013

- Knecht, Stefan (ohne Jahr): Sonnenflecken . Eigenschaften
<http://www.chemie.de/lexikon/Sonnenfleck.html>
 Letzter Zugriff: 30.07.2013
- Lohmann, Dieter (2002): Milankovitch-Theorie
<http://www.g-o.de/dossier-detail-21-15.html>
 Letzter Zugriff: 30.07.2013
- Ohne Autor (ohne Jahr): Allgemeine Daten der Sonne . Größe, Temperatur, Rotation
<http://www.dd1us.de/Downloads/Die%20Sonne%20-%20einige%20Fakten%20und%20Definitionen.pdf>
 Letzter Zugriff: 30.07.2013
- Ohne Autor 2 (ohne Jahr): Sonnenflecken
<http://www.wissen.de/lexikon/sonnenflecken>
 Letzter Zugriff: 30.07.2013
- Ohne Autor (2000): Sonne . Sonnenflecken
<http://www.meta-evolutions.de/pages/ssdc-sonne.html>
 Letzter Zugriff: 30.07.2013
- Ohne Autor (2006): Änderung der Erdbahnparameter
http://www.geo.fu-berlin.de/fb/e-learning/pg-net/themenbereiche/klimaschwankungen/ursachen/ursachen_naturliche/ursachen_extraterrestrische/erdbahnparameter_veraenderung/index.html
 Letzter Zugriff: 30.07.2013
- Ohne Autor 2 (2006): Aphel und Perihel
http://www.geo.fu-berlin.de/fb/e-learning/pg-net/themenbereiche/klimageographie/klimaelemente/strahlung/himmelsmechanische_grundlagen/aphel_perihel/index.html
 Letzter Zugriff: 30.07.2013
- Ohne Autor 3 (2006): Erdrevolution
http://www.geo.fu-berlin.de/fb/e-learning/pg-net/themenbereiche/klimageographie/klimaelemente/strahlung/himmelsmechanische_grundlagen/erdbahnparameter/index.htm
 !
 Letzter Zugriff: 30.07.2013
- Ohne Autor (2009): Kleine Schwankung der Sonnenaktivität, große Wirkung im Klima
[http://www.gfz-potsdam.de/portal/-;jsessionid=73A4F9C569AE5454D9255B4F586F051F?cP=GFZ.content.detail&\\$part=CmsPart&docId=3623419&\\$event=display](http://www.gfz-potsdam.de/portal/-;jsessionid=73A4F9C569AE5454D9255B4F586F051F?cP=GFZ.content.detail&$part=CmsPart&docId=3623419&$event=display)
 !
 Letzter Zugriff: 30.07.2013

- Ohne Autor (2010): Klimaschutz . Die Sonne und das Klima
<http://www.umweltbundesamt.de/klimaschutz/klimaaenderungenn/faq/sonne.htm>
Letzter Zugriff: 30.07.2013
- Ohne Autor (2012): Sonnenflecken . Geschichte
<http://de.wikipedia.org/wiki/Sonnenfleck#Geschichte>
Letzter Zugriff: 30.07.2013
- Ohne Autor 2 (2012): Sonne . Rotation, Magnetfeld und Sonnenflecken
http://de.wikipedia.org/wiki/Sonne#Rotation.2C_Magnetfeld_und_Sonnenflecken
Letzter Zugriff: 30.07.2013
- Ohne Autor 3 (2012): Polarlichter . Entstehung
<http://de.wikipedia.org/wiki/Polarlicht#Entstehung>
Letzter Zugriff: 30.07.2013
- Ohne Autor 4 (2012): Hale-Zyklus
<http://de.wikipedia.org/wiki/Hale-Zyklus>
Letzter Zugriff: 30.07.2013
- Ohne Autor 5 (2012): Ozon . Einleitung
<http://de.wikipedia.org/wiki/Ozon>
Letzter Zugriff: 30.07.2013
- Ramm, Bernd (ohne Jahr): Erdumlaufbahn, Keplersche Gesetz, Exzentrizität
http://www.goruma.de/Wissen/Naturwissenschaft/Astronomie/Erdumlaufbahn_Keplersche_Gesetze_Exzentrizitaet.html
Letzter Zugriff: 30.07.2013
- Titz, Sven (2012): Historisches Tief
<http://www.tagesspiegel.de/wissen/sonnenflecken-historisches-tief/6884784.html>
Letzter Zugriff: 30.07.2013
- Urban, Karl (2011): Zahnräder steuern das Klima
<http://www.scilogs.de/wblogs/blog/astrogeo/bilder/2011-12-09/zahnr-der-steuern-das-klima>
Letzter Zugriff: 30.07.2013
- Westram, Heike (2012): Die Ekliptik
<http://www.br-online.de/wissen-bildung/spacenight/sterngucker/erde/ekliptik.html>
Letzter Zugriff: 30.07.2013

Abbildungsverzeichnis:

- Deckblatt (l.) Wikipedia (2006): Sonnenflecken
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:172197main_NASA_Flare_Gband_Ig-withouttext.jpg, zuletzt aufgerufen am 30.07.13
- Deckblatt (r.) Klimawiki (2008): Erdbahnparameter
<http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Datei:Erdbahnparameter.jpg>, zuletzt aufgerufen am 30.07.13
- Deckblatt (u.) Wikimedia (2007): Illustration der Erde
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Earth-illustration-blue.jpg?uselang=de>,
zuletzt aufgerufen am 30.07.13
- Abb. 1-3: Siehe Abbildung: *Deckblatt (r.)*
- Abb. 4: Eigene Darstellung nach Kutzbach, J.C. & Guetter, P.J. (1986): The Influence of Changing Orbital Parameters and Surface Boundary Conditions on Climate Simulations for the Past 18 000 Years. Journal of Atmospheric Sciences, 43, S.1726-1759 (07.01.2013)
- Abb. 5: Kasang, Dieter (2008): Eiszeitalter
<http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Eiszeitalter>, zuletzt aufgerufen am 30.07.2013
- Abb. 6: Nasa (1997): Aufbau der Sonne
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sun_parts_big.jpg, zuletzt aufgerufen am 30.07.13
- Abb. 7: Nasa (2004): Sonnenflecken
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sunspotcloseinset.png>, zuletzt aufgerufen am 30.07.13
- Abb. 8: Kasang, Dieter (2012): Anzahl der Sonnenflecken und Temperaturentwicklung seit 1900
http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Datei:Temp_solar_20Jh.jpg,
zuletzt aufgerufen am 30.07.2013
- Abb. 9: Kasang, Dieter (2013):
<http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Datei:Solareinstrahlung1980.jpg>,
zuletzt aufgerufen am 30.07.2013

Videoverzeichnis:

- Ohne Autor (ohne Jahr): Magnetfelder der Sonne und Sonnenwind
<http://www.youtube.com/watch?v=2sife07qqqk>, zuletzt aufgerufen am 30.07.13
VOX: BBC Exklusiv