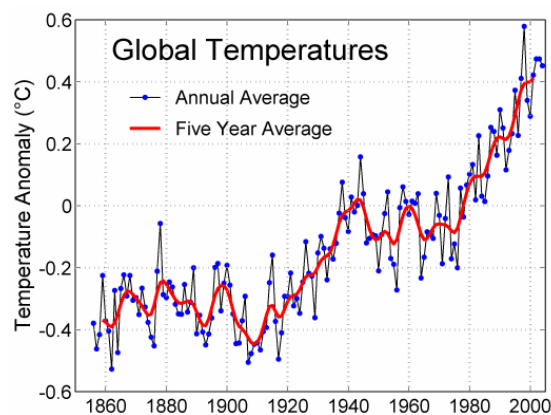


Weltraumwetter und Erdklima

Motivation: Die Erklärung der gegenwärtig beobachteten globale Erwärmung (=Klimawandel, KW) durch erhöhten Ausstoß von Treibhausgasen (vor allem CO₂) ist allgemein akzeptiert, wird allerdings immer wieder von diversen Skeptikern (auch Wissenschaftlern) kritisiert. Starke Medienechos führen dann dazu dass die allgemeine Skepsis steigt und politische Gegenmaßnahmen schwerer durchsetzbar werden¹.

Wie glaubhaft sind die **Hauptargumente** der Klimaskeptiker?

1. Der KW **findet nicht statt** (Schwierigkeiten bei Bestimmung globaler Temperatur; Satelliten-, Boden-, Ozean- und Atmosphärenmessungen müssen in Einklang gebracht werden), inzwischen sehr gut widerlegt (Sherwood et al. 2005).



Boden-Lufttemperatur von Wetterstationen sowie Messungen der Meeresoberflächentemperatur durch Schiffe und Satelliten (NASA-GISS)²

2. Ursache ist **die Sonne**, da in einem Stadium erhöhter Aktivität und der eigtl. „Klima-Motor“. Direkte (Sonnenstrahlung) und indirekte (kosmische Strahlung hat Einfluss auf Wolkenbildung) als Erklärungsansätze.
3. in der jüngeren **Klimageschichte** gab es ständige (nicht-anthropogen verursachte) Temperaturschwankungen, möglicherweise sind auch jetzt **natürliche Ursachen** vorrangig.

Die Aktivität der Sonne verursacht Veränderungen im **Sonnenwind** und dadurch in der erdnahen **galaktischen kosmischen Strahlung** der Milchstraße. Durch diese Einflüsse gelangen in (un-)regelmäßigen Abständen mehr oder weniger Teilchen und Strahlung in das Umfeld der Erde und beeinflussen damit die Magnetosphäre (Nordlichter), Ionosphäre (z.B. Störungen im Funkverkehr) und evtl. auch die Atmosphäre und damit das Klima.

1. Sonnenwind = Teilchen (p, e, He, etc.) + Magnetfelder, welche von der Sonne abströmen; er kann Ausbrüche (flares und coronal mass ejections (CMEs)) und/oder energetische Teilchen von der Sonne enthalten; das Magnetfeld der Sonne schirmt das Sonnensystem vom Interstellaren Wind ab (bis ~ 100 AU, Voyager) – diesen Bereich nennt man Heliosphäre.
2. Galaktische Kosmische Strahlung (galactic cosmic rays, GCRs): prasselt ständig auf die Erdatmosphäre ein; extrem hochenergetische Teilchen (Protonen, He²⁺); Ursprung unklar,

wahrscheinlich Beschleunigung an Supernova-Shocks. Lösen Teilchenschauer i. d. Atmosphäre aus und ionisieren Luftmoleküle. Sichtbar in ^{10}Be (Eisbohrkerne) und ^{14}C (Baumringe). Interplanetares Magnetfeld ist eine Art Schild für diese Strahlung - Höheres interpl. Magnetfeld bewirkt weniger GCR bei der Erde!

Unter dem zusammenfassenden Begriff des *Weltraumwetter* (*space weather*) versteht man all diese Veränderungen des erdnahen interplanetaren und interstellaren Mediums.

Die Sonne als Ursache der Klimaerwärmung?

11 - jähriger Sonnenzyklus (Min-Max-Min). Letztes Maximum ~2002, Minimum 2008 (neuer Zyklus am 4. Jän 2008 begonnen!). Erhöhte Sonnenaktivität = mehr Sonnenflecken (durch erhöhte Magnetfelder), höhere Strahlung, mehr und stärkere CMEs, dadurch größere Schwankungen des Erdmagnetfelds (sog. magnetische Stürme). Durch CMEs kein Zusammenhang mit Erdklima vermutet, (evt. noch bei schwächerem Erd-Magnetfeld durch Verlustprozesse). Sonnenaktivitäts-Effekte die das Erdklima beeinflussen könnten: (nicht unabhängig voneinander, aber alle: Sonne aktiv – Erde erwärmt sich).

a) direkt über die Strahlung

1. **Gesamte Strahlungsleistung** der Sonne (total solar irradiance, TSI) = Gesamte Energie welche auf von außen auf die Atmosphäre trifft, gemessen seit 1976 von Satelliten: im sichtbaren Spektrum Änderungen sehr klein (0.1 %, **Sonnenflecken** dunkel, aber überkompensiert durch kleinere helle Gebiete (Fackeln)) und kein Ansteigen beobachtet, evt. sogar leichter Rückgang!
2. im UV-Bereich Änderungen größer (< 10 %), allerdings i. d. Stratosphäre absorbiert durch O_3 was sich viell. auch auf die Troposphäre auswirkt, aber Verstärkungsmechanismen i. d. Atmosphäre notwendig sind (z.B. globale Zirkulation der Luft verändert).

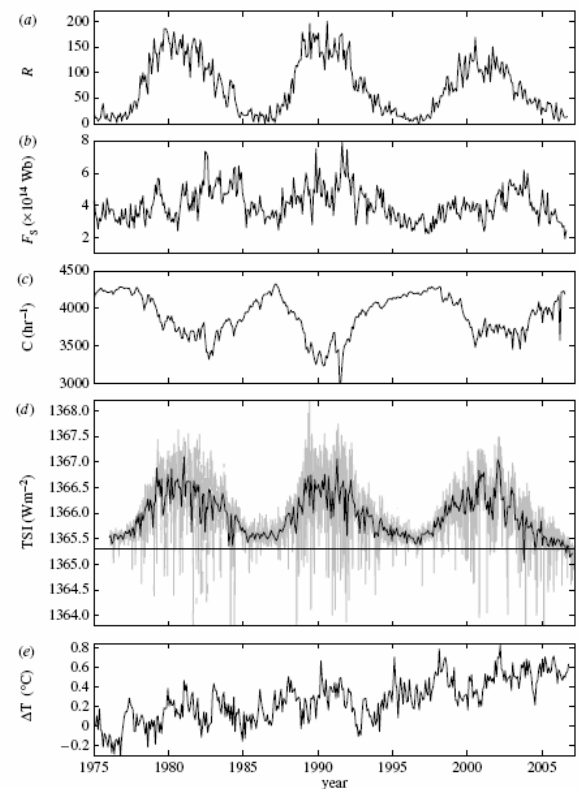
Allerdings ist die beobachtete Abkühlung der Stratosphäre nicht erklärbar, bei erhöhter

Sonnenstrahlung müssten **alle Schichten wärmer** werden (nur durch Treibhausgase erklärbar)!

Lockwood und Fröhlich (2007): Sonnenflecken- erdnahes interplanetares Magnetfeld- GCR- totale Sonnenstrahlung- Globale Temperatur

b) indirekt über den Prozess:

Sonne aktiv - Magnetfeld im Sonnenwind hoch - lenkt kosmische Strahlung von der Erde ab - weniger Teilchen erreichen die Erde -??- dadurch weniger Wolkenbildung weil weniger

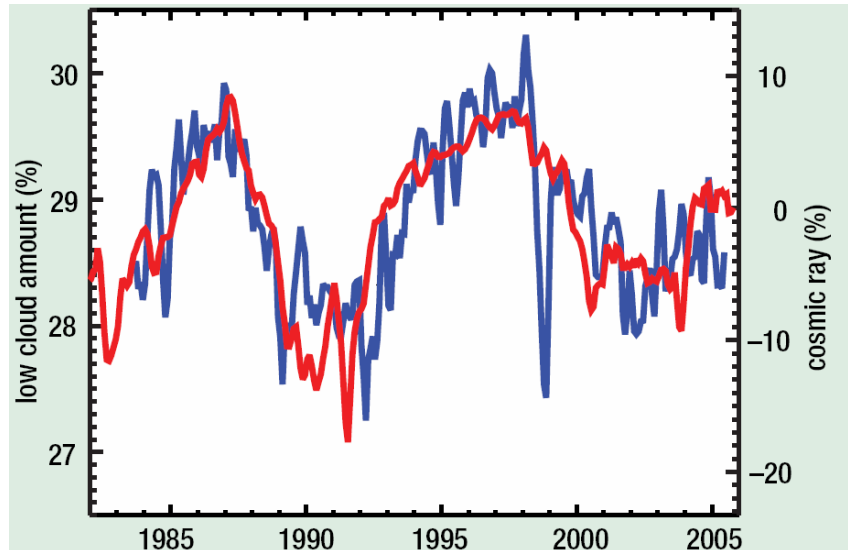


Kondensationskeime - weniger tiefliegende Wolken (< 3 km) reflektieren weniger Sonnenlicht --
Temperatur auf der Erdoberfläche steigt.

Das ist die **Theorie von Svensmark und Friis-Christensen (1997)**. Der Zusammenhang -??- ist sehr umstritten, die restlichen Zusammenhänge sind bekannt.

Grafik: Globale Bedeckung durch Wolken unter 3 km (blau), vgl. mit GCR (rot) aus Svensmark (2007)

Beeinflusst Wolkenbildung durch Aerosole: (fein verteilter Staub + Nebel), H₂O Tröpfchen lagern sich an Aerosole – Wolken entstehen, wenn zu gross - Regen; Ionisierung durch kosmische Strahlung führt evt. zu mehr e⁻ und dadurch zu mehr Aerosolen. Teilweise bestätigt durch ein idealisiertes Experiment von Svensmark et al. (2007), allerdings noch nicht aussagekräftig ob das so i. d. reale Atmosphäre auch vorkommt (Kritik bei realclimate.org)³.

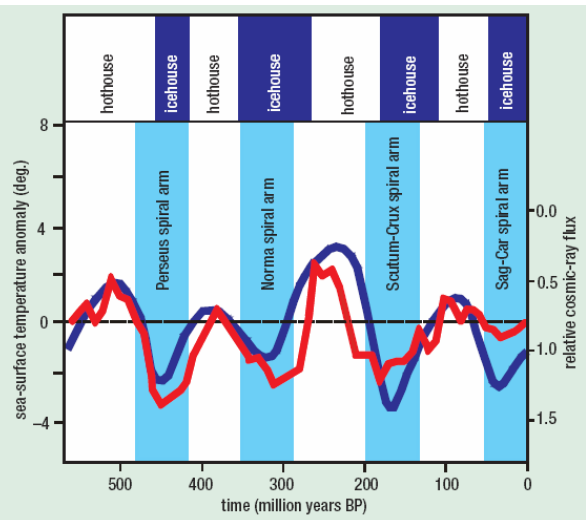


Größe des Effekts und viele Einzelheiten der Prozesse unklar, z.B. sind die gefundenen Aerosole zu klein und erst Vorstufen von Kondensationskeimen. CLOUD Experiment bei CERN könnte eine Entscheidung bringen, erste Daten 2010.

Sollten Einzelheiten geklärt werden, könnte dies eine viel versprechende Theorie für langfristige (1000 bis Millionen Jahre) Klimaveränderungen sein, neben Treibhausgasen, Vulkanen und großen Änderungen im Zustand der Sonne und der Erdbahn. (Milankovich Zyklen, Effekte aber zu klein).

Es gibt z.B. einen Zusammenhang zwischen den 4 Warm und Kaltzeiten (+/- 3 °C) in den letzten 500 Mill. Jahren und dem Ort der Sonne i. d. Milchstrasse; bei

8: Four switches from warm "hothouse" to cold "icehouse" conditions during the Phanerozoic are shown in variations of several degrees K in tropical sea-surface temperatures (red curve). They correspond with four encounters with spiral arms of the Milky Way and the resulting increases in the cosmic-ray flux (blue curve, scale inverted). (After Shaviv and Veizer 2003)



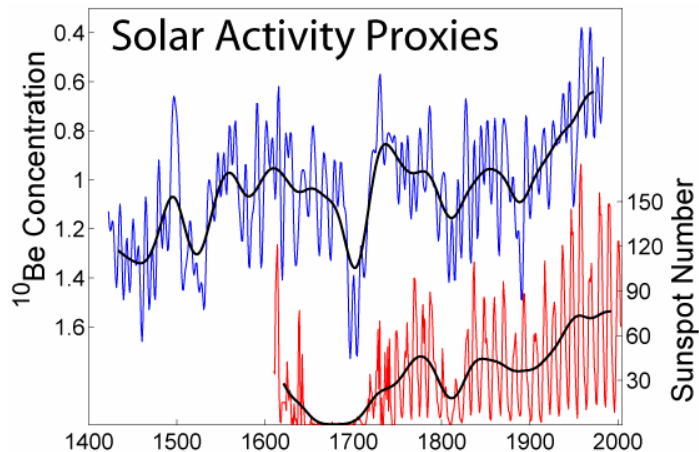
Kreuzung eines Spiralarms treffen mehr GCRs auf die Erde -> kälter, auch Snowball –Earth Episoden-Erde komplett vereist), aus Svensmark (2007)

Der jetzige KW kann dadurch allerdings nicht erklärt werden, siehe unten.

Klima und Sonnenaktivität i. d. Vergangenheit

Ist die jetzige Erwärmung historisch einzigartig, ist die derzeitige Aktivität der Sonne typisch?

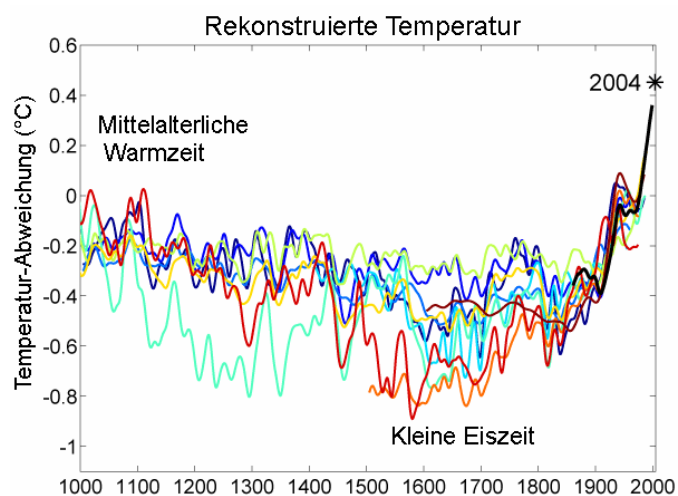
Durch kosmische Strahlung werden die Anteile von ^{10}Be und ^{14}C (Isotope) auf der Erde verändert, macht z.B. Bestimmung der Sonnenaktivität vor 1610 (Galileo, Sonnenflecken) möglich.



Sonnenaktivität rekonstruiert seit 1400 (Schwarz: 30 Jahre Mittel)⁴

- Maunder-Minimum (1640-1710), keine Sonnenflecken
- Dalton-Minimum (um 1800)
- Anstieg der Sonnenaktivität von 1900-1950: Modernes Maximum, seitdem in etwa stabil

Temperatur der letzten 1000 Jahre (rekonstr. z.B. aus Baumringen, Gletscherablagerungen, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Verhältnis in Eisbohrkernen und in den kalkhaltigen Gehäusen von Einzellern (Foraminiferen) in Ablagerungen auf dem Meeresboden):



Aus 10 verschiedenen Publikationen, relativ unsicher!⁵

Mittelalterliche Warmzeit: 800-1300, u.a. Besiedelung Grönlands durch Wikinger, Landwirtschaft, am Ende dieser Periode aufgegeben! Gotische Kathedralen in Europa, Weinanbau in England...

Kleine Eiszeit : in Europa, Nordamerika und China viele sehr kalte Winter, schlechtere Ernten; Themse, Niederländische Kanäle, Bucht von New York zugefroren, vermehrt Winterdarstellungen i. d. Kunst (z.B. „Eisvergnügen“ von Hendrick Averkamp), sogar die Hexenverfolgung wird damit assoziiert⁶! Schlechte Ernten – Wetterkapriolen – Mutterkorn – Halluzinogene i. d. Nahrung.

Ursachen: Maunder-Minimum der Sonnenflecken (1640-1710) entspricht recht gut dem Zeitraum der Kleinen Eiszeit – Sonne nicht aktiv, TSI, UV weniger (aber wieviel ungewiss!!!) - kühler; nach Svensmark auch GCR mehr – mehr Wolken – kühler.

Indikatoren das Mittelalt. Warmzeit mit hoher Sonnenaktivität einhergeht.

Auch starke Vulkanausbrüche (Abkühlung durch Schwefel und Asche i. d. Stratosphäre, Erde verdunkelt sich, weniger Sonneneinstrahlung, kälter) werden vermutet bzw. eine Verminderung der Wärmezufuhr durch den Golfstrom, daher evt. nicht global. Besonders viele „Jahre ohne Sommer“ zwischen 1600 und 1700. Besonders gut dokumentiert: 1815: Tambora-Ausbruch in Indonesien: „Jahr ohne Sommer“ in Mitteleuropa und Osten der USA (z.B. Schnee im Juni/Juli).

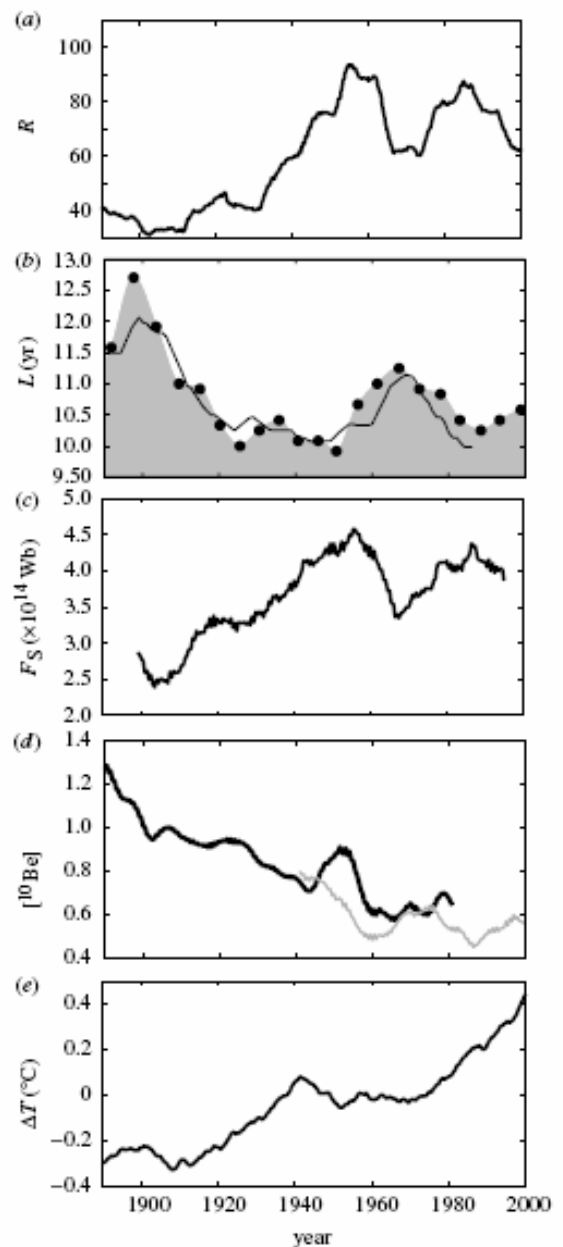
Klima seit 1900

aus Lockwood und Fröhlich (2007), von oben nach unten, gemittelt über Sonnenzyklus: Sonnenflecken – Zykluslänge - Magnetfeld der Sonne – GCR - globale Oberflächentemperatur; Daten gemittelt mit sliding window 9-13 Jahre.

Erhöhte Aktivität der Sonne von 1900-1950, Anteil max 50:50 zwischen Sonne und Treibhausgasen an Erhöhung der globalen Temperatur.

Nach 2. WK: starke Luftverschmutzung durch Sulfate (Schwefelsäure aus Industrie) Globale Verdunkelung (Global dimming)– Aerosole- Wolken-Abkühlung, wirkt Treibhaus entgegen bis 1980.

Nach 1950 kurzer Rückgang i. d. Temperatur, seit 1970 historisch einzigartiger extremer Anstieg um

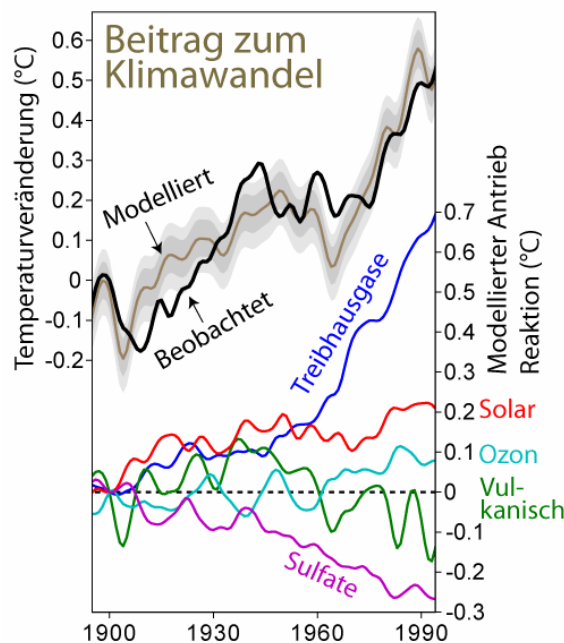


0,13 °C ($\pm 0,03$ °C) pro Jahrzehnt.

Diesen Anstieg sieht man **nicht** in den Daten der Sonne und der kosmischen Strahlung.

Sonnenaktivitätsmaximum 1955, Minimum 1970; insbesondere nach 1985: Sonnenflecken, TSI, interplanetares Magnetfeld rückgängig im *Gegensatz* zur globalen Temperatur. Ausserdem mehr GCRs (laut Svensmark kühlend durch mehr Wolken), d.h. wäre Sonne der Hauptfaktor hätte es seit 1985 kühler werden müssen!! (mit einer Verspätung von max. 10 Jahren weil sich die Ozeane erst anpassen müssen).

Sonneneinfluss kann damit nicht hauptverantwortlich für den jetzigen KW sein. Von $-0,7$ °C Erwärmung im 20. Jhd. höchstens $0,2$ °C von der Sonne verursacht; i.d. Literatur kursieren Werte von 15-30 % Anteil (u.a. Stott et al. 2003; Lockwood und Fröhlich, 2007)



< Aus Meehl et al. 2004.

Zusammenfassend:

weniger als 30 % der gegenwärtig beobachteten globalen Erwärmung kann auf eine erhöhte Sonnenaktivität seit 1950 zurückgeführt werden.

Einige Grafiken bearbeitet von Global Warming Art⁷ mit Daten aus den jeweiligen Referenzen.

Referenzen:

Lockwood, M. and Fröhlich, C., (2007), Recent oppositely directed trends in solar climate forcings and the global mean surface air temperature, in: Proceedings of the Royal Society A, http://publishing.royalsociety.org/media/proceedings_a/rspa20071880.pdf

Marsh N. D. and Svensmark H. (2000) Phys. Rev. Letters 85, 5004 – 5007.

Meehl, G.A., W.M. Washington, C.A. Ammann, J.M. Arblaster, T.M.L. Wigley and C. Tebaldi (2004). "Combinations of Natural and Anthropogenic Forcings in Twentieth-Century Climate". Journal of Climate 17: 3721-3727.

Stott, Peter A., Gareth S. Jones and John F. B. Mitchell (15 December 2003). "Do Models Underestimate the Solar Contribution to Recent Climate Change". Journal of Climate 16: 4079-4093.

Sherwood, Steven, John Lanzante und Cathryn Meyer (2005), Radiosonde Daytime Biases and Late-20th Century Warming, Science, 11. August.

Svensmark, (2007), Cosmoclimatology, in Astronomy and Geophysics.

Svensmark, H. and E. Friis-Christensen (1997), Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage-A missing link in solar-climate relationships, J.Atmos. Solar-Terr.Phys.,59, 1225–1232.

Web:

1. Wikipedia.de, „Kontroverse um die globale Erwärmung“, „Globale Erwärmung“.
2. <http://www.giss.nasa.gov/research/news/20070208/>
3. <http://www.realclimate.org/index.php/archives/2006/10/taking-cosmic-rays-for-a-spin/>
4. http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Solar_Activity_Proxies.png
5. http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:1000_Jahr_Temperaturen-Vergleich.png
6. Ursachen der Hexenverfolgung
http://www.uni-saarland.de/fak3/behringer/HP/pdf_behringer/weather.pdf.
7. <http://www.globalwarmingart.com/>