

TEMA: Solen og klimaet

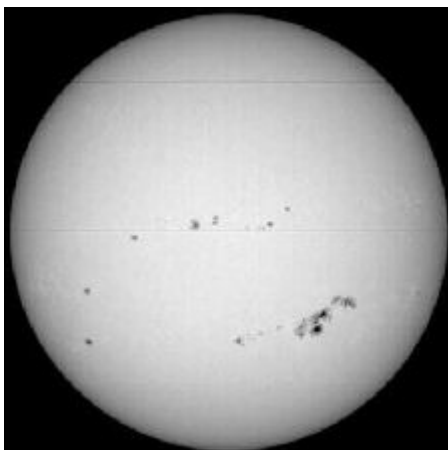
Variationer i solens aktivitet påvirker klimaet, men hvad er de mulige mekanismer bag påvirkningen? I dette tema bliver der sat fokus på resultater af undersøgelser, hvor variende solaktivitet sammenholdes med forskellige typer observerede klimadata

Jordens vejr og klima er i det lange løb drevet af Solens energi-udstråling. Den udstråling, vi alle kender under navnet sollys. Uden Solen ville temperaturen på Jorden være tæt på det absolutte nulpunkt -273°C , og intet liv ville kunne eksistere.

Jordens rotation om sig selv giver os nat og dag, og Jordaksen hældning i forhold til dens bane omkring Solen giver os sommer og vinter. Udviklingen af vejrsystemer skyldes, at Solen opvarmer nogle områder kraftigere end andre, og at der så opstår bevægelse i atmosfæren for at udjævne opvarmningen.

Disse fakta er velkendte, men alligevel er Sol-klima-forbindelsen omdiskuteret, når det handler om udviklingen af klimaet over årtier og århundreder.

Disse sider beskriver de mulige mekanismer bag Sol-klimapåvirkningen, samt resultaterne af undersøgelser, der sammenholder varierende solaktivitet med forskellige typer observerede klimadata.



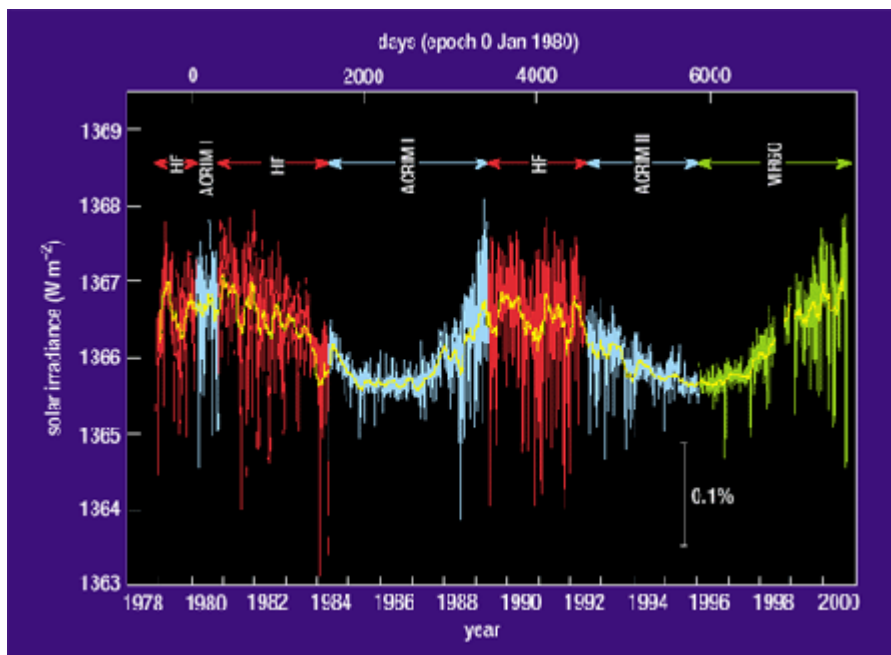
Figur 1: Solpletter ses tydeligt på solskiven. Mængden af solpletter varierer med tiden.

Solkonstanten

Solens udstråling i Jordens afstand fra Solen er målt til 1365 W/m^2 . Dette tal kaldes for solkonstanten, selvom vi nu ved, at det ikke er konstant, men varierer med tiden.

Den bedst kendte variation i solkonstanten er knyttet til en 11 års periode i Solen. På Solen kan ses mørke pletter - kaldet solpletter - hvis antal stiger og falder med en periode på omkring 11 år. I modsætning til hvad man skulle tro, udstråler solen mere energi, når der er mange solpletter, fordi der samtidig med solpletterne optræder lyse områder kaldet faculae på Solen.

Satellit-målinger viser, at solkonstantens variation over 11 årsperioden er ca. 0,1 %. Der har i årenes løb været mange undersøgelser, om og hvordan denne 11 årsperiode påvirker klimaet på Jorden, og man har fundet, at overflade-temperaturen ændres med op til to tiendedele af en grad. Den 11 årige sol-klima påvirkning må efterhånden siges at være empirisk velfunderet, og der er i flere klimadata tegn på en skelnelig påvirkning fra varierende solaktivitet.



Solkonstanten som funktion af tiden. Den 11-årige periode ses tydeligt, men der er også længere perioder.

Solaktivitet og solpletter

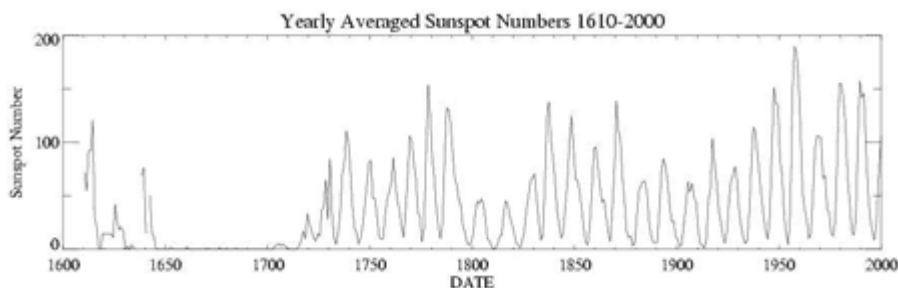
Det er bemærkelsesværdigt, at den fundne variation i klimaet er større, end man skulle forvente ud fra ændringen af solkonstanten. Man kan derfor spekulere på, om der kunne være ukendte forstærkende mekanismer på spil. Da ændringen i solkonstanten ikke er den samme for alle bølgelængder, men størst for de korteste bølgelængder, som påvirker det stratosfæriske ozonlag, har nogle forskere spekuleret i en mekanisme, der involverer en forbindelse mellem stratosfæren og troposfæren

Også andre faktorer end ændringer i solkonstanten har været studeret. Nogle danske forskere har arbejdet med en meget omdiskuteret hypotese om forbindelsen mellem den kosmiske stråling og klimaet. Den mængde af kosmisk stråling, der rammer jorden, moduleres af solens magnetfelt, og den kosmiske stråling vil i følge hypotesen påvirke skyerne, som har en stor effekt på klimaet.

Systematiske optællinger af solpletter har været rutine siden teleskopets opfindelse i begyndelsen af 1600-tallet. Mellem 1645 og 1715, kendt som Maunder-minimummet, blev meget få solpletter observeret, og man kan forvente, at solkonstanten var tilsvarende reduceret. Denne periode falder delvis sammen med en usædvanligt kold periode i Europa kendt som Den Lille Istid.

Ud fra satellit-målinger af solkonstanten og historiske optegnelser over solpletter samt andre kilder som målinger af isotoper og viden om andre sollignende stjerner kan man forsøge at rekonstruere solkonstantens variationer gennem de sidste 500 år.

De nyeste rekonstruktioner viser, at forskellen mellem solkonstanten i dag og under Maunder-minimummet er 0,08 %. Dette er en betydelig reduktion af tidligere estimater, og blandt andet på ovennævnte grundlag konkluderer IPCC i sin 2007-rapport, at ændringen i solkonstanten ikke er en væsentlig faktor i klimaudviklingen i den sidste halvdel af det tyvende århundrede.

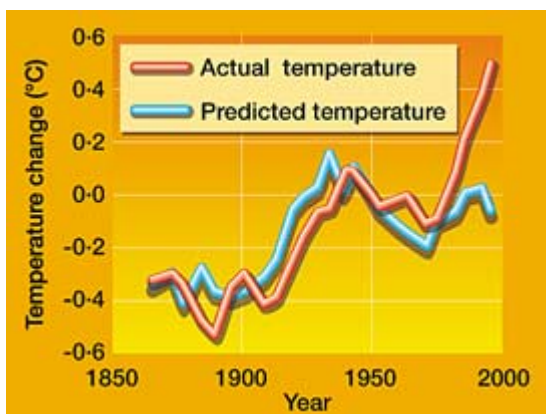


Antallet af solpletter som funktion af tiden. Bemærk Maunder-minimummet omkring 1645-1715. Det delvise sammenfald med Den Lille Istid har givet årsag til mange spekulationer.

Solcykluslængde og temperatur

Forløbet af solaktiviteten kan sammenlignes med klimaet i den udstrækning, man har pålidelige registreringer tilbage i tiden. Ved DMI har man i en årrække undersøgt denne sammenhæng, og et meget omtalt eksempel på en sådan sammenligning blev offentliggjort i tidskriftet "Science" i 1991. Her blev forløbet af Jordens gennemsnitstemperatur sammenlignet med den gennemsnitlige solpletaktivitet bestemt som tidsrummet fra maksimum til næste maksimum. Jo mere aktiv solen er, jo kortere er dette interval: solpletcyklen kører hurtigere. Resultaterne viste en tilsyneladende sammenhæng mellem solaktivitet og klima gennem godt 100 år. En statistisk sammenhæng er dog ikke et bevis for Solens påvirkning.

Senere er analysen gentaget med opdaterede temperaturdata og data for solaktiviteten.



Sammenhæng mellem solaktivitet og observeret temperatur.

Den sammenhæng, der var imellem den observerede temperatur (rød kurve) og den af solmodellen forudsagte temperatur (blå kurve) frem til ca. 1980, gælder ikke efter denne tid. Kurverne skilles ad, og forskellen imellem den observerede og forudsagte temperatur var i 2000 oppe på ca. 0,4 °C, som er mere end enhver forskel imellem de to kurver i tiden inden. Denne forskel er et tegn på, at der nu er bidrag til temperaturvariationer og -ændringer i tilgift til det, Solen kan komme med – ændringer, som med stor sandsynlighed stammer fra den menneskeskabte drivhuseffekt.

Kilde: (Thejll og Lassen, "Solar forcing of the Northern hemisphere land air temperature: New data", JASTP, vol. 62, p.1207-1213, 2000).

Siden 2000 er arbejdet atter opdateret (Thejll, <http://www.dmi.dk/dmi/dkc09-01.pdf>) med udvidede temperatur- og sol-data, og tendensen til at kurven for temperatur og solaktivitet skilles ad, er voksende.

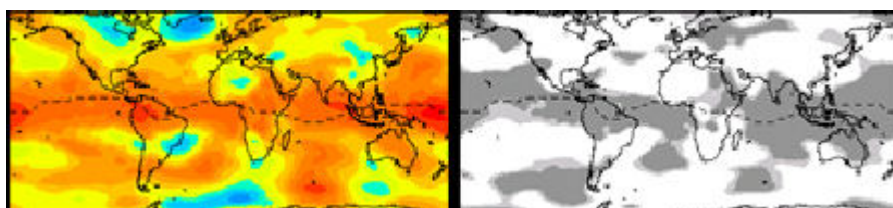
Ses solaktivitetens indflydelse på klimaet overalt?

Igennem det seneste par hundrede år er der fremkommet flere teorier om, at Solens varierende aktivitet påvirkede klima og vejr, men for det meste har man ikke kunnet finde en sammenhæng imellem de

mange resultater, da den ene påstand lod til at modsige den næste. Ved DMI er der derfor arbejdet på at fremskaffe et sammenhængende overblik over de mange fremsatte resultater.

Undersøgelserne har vist, at flere fænomener kan ses som forskellige aspekter af én simpel mekanisme, hvis man tager udgangspunkt i atmosfærens cirkulation over Ækvator. Ved Ækvator varmer Solen mest op og den varme fugtige luft stiger derfra og breder sig ud mod højere breddegrader. Ved ca. 30-40 graders bredde synker luften ned og strømmer bl.a. igen mod Ækvator. Denne store cirkulation kaldes 'Hadley-cirkulationen'. Styrken i Hadley-cirkulationen styrer mange vejr-fænomener i de tilgrænsende områder, og transporten af vanddamp og luft fra Ækvator er en væsentlig faktor for klimaet ved højere breddegrader.

Undersøgelser viser, at Hadley-cirkulationen varierer i takt med Solens 11-års cyklus, og at hele den nedre atmosfære er påvirket af denne cirkulationsændring. Derved er der åbnet op for at forklare tilsyneladende usammenhængende påberåbte Sol-Klima sammenhænge, idet lokale effekter nu kan vurderes ud fra den simple fundne globale ændring i cirkulationen.



Solaktivitet og atmosfærens temperatur

Sammenhæng mellem Sol og klima

Kortet ovenfor til venstre viser korrelationen imellem Jordens atmosfæres temperatur og Solaktivitet vist som farver. De røde farver svarer til positiv korrelation imellem Solaktivitet og temperatur, gule farver svarer til en svagere sammenhæng.

Kortet til højre ovenfor viser den såkaldte signifikans af det viste resultat. De mørkeste områder er dér hvor sammenhængen imellem Sol og klima er mest troværdig, mens hvide og lysegrå områder svarer til de steder, hvor man ikke kan være så sikker. Man ser, at der er tre bæltter med stor sammenhæng imellem atmosfærisk temperatur og solaktivitet – nemlig lige ved Ækvator og i to bånd på mellembreddegrader. Denne struktur svarer til Hadley-cirkulationen. I dataene er påvirkninger fra vulkaner og El Niño fjernet.

Fra Gleisner, H. and P. Thejll, 2003: Patterns of tropospheric response to solar variability. Geoph. Res. Let., Vol 30, no. 13, 1711-1714.

Nyeste viden

Sol-klima forskningen har i høj grad været baseret på observerede forbindelser mellem klimaet og forskellige mål for Solens aktivitet, mens forskningen i mulige fysiske mekanismer har været mere begrænset, og der er usikkerheder i timing og størrelse af solvariationer på tidsskalaer fra nogle årtier til hundreder af år.

IPCC anfører i sin 2007-rapport, at over de sidste 1000 år har vulkansk aktivitet og måske også Solen med stor sandsynlighed påvirket middeltemperaturen på den nordlige halvkugle, og at sådanne påvirkninger kan forklare en betydelig del af temperaturvariationerne på 10-års skala.

Naturlige faktorer kan også have påvirket klimaforholdene i længere perioder så som den kolde periode omkring år 1700. Men påvirkningen fra drivhusgasser kan detekteres i en række klimadata over de seneste ca. 50 år.

Der har været spekulationer omkring Solens aktivitet i de sidste flere år, idet solcyklus'en så ud til ikke at komme igang efter et længerevarende minimum, men den 24. solcyklus er gået igang viser observationer af solpletallet. Grafik: http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/Zurich_Color_Small.jpg



Referencer:

Lockwood, M. og Fröhlich, C., Recent oppositely directed trends in solar climate forcings and the global mean surface air temperature, Proc.R. Soc. A, 2007

Lockwood, M. og Fröhlich, C., Recent oppositely directed trends in solar climate forcings and the global mean surface air temperature. II. Different reconstructions of the total solar irradiance variation and dependence on response time scale, 2008.

Lockwood, M., Recent changes in solar outputs and the global mean surface air temperature. III. Analysis of contributions to global mean air surface temperature rise, 2008.

Lockwood, M., "Solar change and climate: an update in the light of the current exceptional solar minimum", PROCEEDINGS OF THE ROYAL SOCIETY A-MATHEMATICAL PHYSICAL AND ENGINEERING SCIENCES, 466, 303-329, 2010.

Temaet er skrevet af Bo Christiansen og Peter Thejll og redigeret af Anne Mette K. Jørgensen.

Redaktion Mai Maskell Andersen, mma@dmi.dk
© DMI, 28. juli 2008

Senest opdateret Oktober 2010