

Solaktivitet og klimaændringer

Af Jens Olaf Pepke Pedersen, DTU Space

Solpletter er et tydeligt tegn på Solens aktivitet, og de er sandsynligvis blevet observeret gennem flere tusinde år. Det har også i mange år været klart, at der er sammenhæng mellem Jordens klima og Solens aktivitet, men vi er først nu ved at afdække den fysiske mekanisme bag sammenhængen.

Solkonstanten er ikke konstant

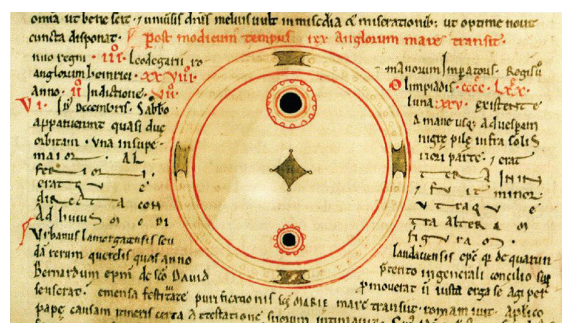
Et *oxymoron* er et ord eller en kort vending, der kombinerer begreber, som modsiger hinanden. Et godt eksempel på et oxymoron er *solkonstanten*, som er et mål for Solens udstråling lige udenfor Jordens atmosfære. Tallet er omkring 1.365 W/m^2 , men det er netop ikke en konstant, for det varierer i takt med Solens aktivitet. Solens mest kendte rytme, den 11-årige Schwabe cyklus er i øvrigt heller ikke konstant, men varierer mellem ca. 9 og 12 år, og derudover er der perioder på blandt andet ca. 90 år (opkaldt efter Gleissberg), 210 år (Suess eller de Vries) og 2.300 år (Hallstatt).

Ændringen i solkonstanten over en enkelt solcyklus er relativt lille, ca. en promille, men det bliver dog alligevel til omkring $1,4 \text{ W/m}^2$, hvilket integreret over Jorden bliver til en enorm energimængde. Ændringen er ikke jævnt fordelt over alle bølgelængder og i UV området er variationen således langt større over en solcyklus (omkring 6 % ved 200 nm), men ændringerne er alligevel så små, at det har været svært at måle dem fra Jorden. Siden 1977 er der dog foretaget systematiske målinger af soludstrålingen fra flere satellitter.

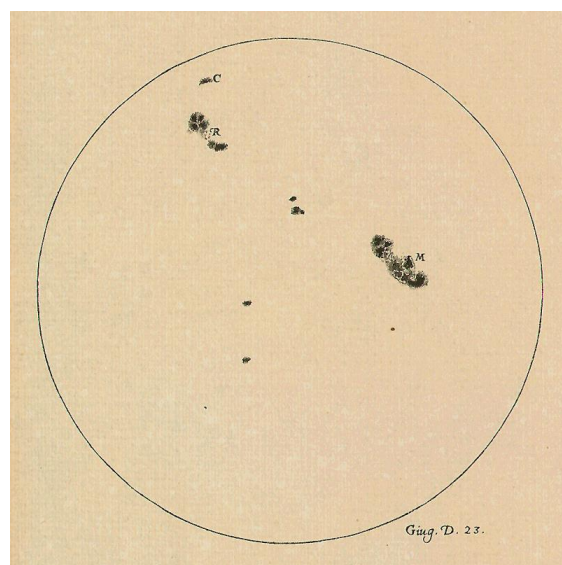
Historiske observationer

Allerede meget tidligt har man dog været klar over, at Solen ikke var en konstant lysende lampe. Theofrast (ca. 372-287 før Kristi fødsel), som var en elev af Aristoteles, har således i sin afhandling *De Signis Tempestarum* (Om Vejrvarsler) flere referencer til pletter på Solen [1]. Større solpletter kan godt ses med det blotte øje, hvis man kigger på Solen ved solopgang eller -nedgang, og Theofrast konkluderer, at hvis Solen har et sort mærke, når den står op er det et tegn på regn (*Fragm. 6.1.11*). Et andet sted (*Fragm. 6.2.27*) skriver han, at sorte pletter på Solen og Månen er et tegn på regn, mens røde pletter er et tegn på vind. Omvendt indikerer en solopgang med en Sol uden særlige mærker, at det bliver godt vejr (*Fragm. 6.4.50*). Det er også interessant, at Theofrast ikke blot noterer sig, at Solen kan have pletter, men også mener at der er en sammenhæng mellem solpletter og vejret. Selvom Theofrast måske er den første, der har skrevet om solpletter, betyder det ikke nødvendigvis, at han selv har observeret dem, men han har snarere samlet den tilgængelige viden på daværende tidspunkt. Nogle forskere [2] argumenterer således for, at observationerne skal tilskrives astronomen Meton (ca. år 400 før Kristi

fødsel), der observerede Solen fra bjerget Lycabettus i Athen, og som også omtales af Theofrast (*Fragm. 6.1.4*).



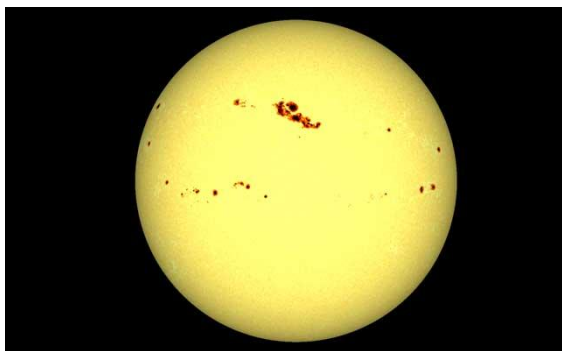
Figur 1. Solpletter tegnet af John fra Worchester [3].



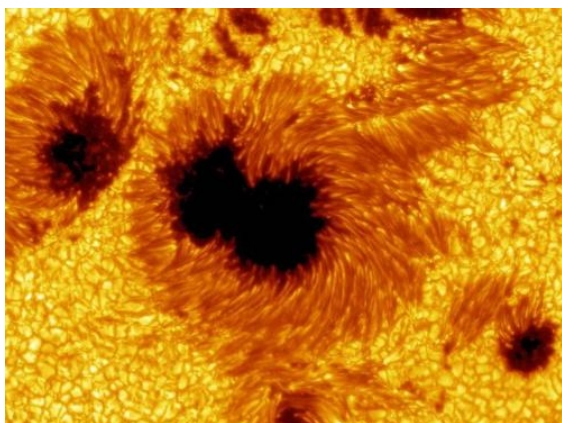
Figur 2. Galileo Galileis tegning af solpletter, observeret i sommeren 1612.

Formodentlig har kinesiske og koreanske astronomer observeret solpletter endnu tidligere, og op igennem middelalderen er der mange eksempler på observationer, bl.a. den engelske munk og krønikeskriver John fra Worchester (ca. 1130, se figur 1). I dag kan man godt undre sig over, at disse observationer ikke gav anledning til større opmærksomhed, men både Aristoteles og senere kristendommen havde erklæret himlen og dens legemer for uforanderlige, og formodentlig derfor blev solpletter enten ignoreret eller fejlagtigt tilskrevet passager af de indre planeter Merkur og Venus. Først opfindelsen af teleskopet og Galileis beskrivelse af sine

observationer (figur 2) af solpletter i 1610 ændrede dette verdensbillede, og med så stor effekt, at det er blevet sammenlignet med den første månelanding [4].



Figur 3. Solpletter fotograferet fra NASA's Solar Heliospheric Observatory (SoHO). Solpletterne ligner Galileis tegninger og ser mørke ud fordi de har lavere temperatur (ca. 4.200 K i centrum) i forhold til omgivelserne (ca. 5.800 K). De lever fra dage til uger.

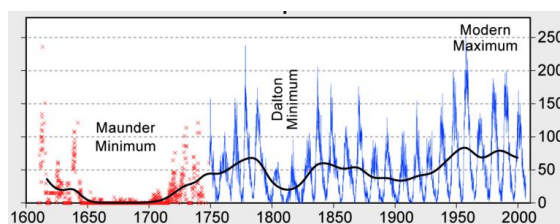


Figur 4. Nærbillede af solpletter. Magnetfeltet er stærkt koncentreret i solpletten.

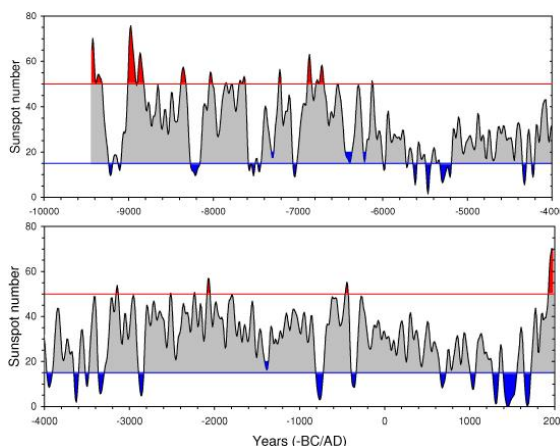
Siden da har der været utallige eksempler på og forslag til korrelationer mellem Solens aktivitet og Jordens klima [5]. Galileis samtidige, den italienske astronom Giovanni Riccioli, spekulerede tidligt over om solpletterne havde indflydelse på klimaet, dog uden at have empiriske målinger som grundlag for teorien, men i slutningen af 1700-tallet undersøgte den britiske astronom William Herschel spørgsmålet med en mere videnskabelig tilgang. I mangel på gode meteorologiske data brugte han prisen på hvede, idet han fornuftigt nok antog, at prisen afspejlede årets høst og dermed klimaet. Hans første forsøg på at overbevise medlemmerne af The Royal Society gennem en forelæsningsrække om korrelationen gik dog ikke så godt, og efter blot en enkelt forelæsning måtte han aflyse resten af foredragene. Forsamlingen var simpelthen ved at dø af grin, efter at han havde luftet sin teori om at Solen ikke blot var kold inde, men også beboet [4,6].

I 1873 publicerede den britiske meteorolog Charles Meldrum, der arbejdede i Indien, en artikel om sammenhængen mellem solpletter og cykloner i Indien [5], og herefter fulgte en hel række forskere trop med mere eller mindre overbevisende korrelationer mellem klimaparametre på Jorden og antallet af solpletter. En af de

prominente solpletforskere var den engelske astronom Edward Maunder (1851-1928), som havde været fascineret af solpletter siden han var en stor dreng. Senere blev han medarbejder ved observatoriet i Greenwich og optog i tusindvis af billeder af solpletter, hvilket satte ham i stand til at kortlægge deres regelmæssige bevægelser hen over Solens overflade. Han foreslog også at perioden fra 1645 til 1715, hvor der var observeret usædvanligt få solpletter, måtte falde sammen med en kølig periode i Jordens klima, men desværre blev hans teori først generelt accepteret efter hans død [2]. Til gengæld er det lange solpletminimum i 1645-1715 blevet opkaldt efter Maunder (figur 5), selvom det egentlig var den tyske astronom Gustav Spörer, som først identificerede perioden. Som trøst har Spörer dog fået opkaldt et mindre solpletminimum fra 1460 til 1550 efter sig.



Figur 5. Antallet af solpletter siden 1600.



Figur 6. Rekonstruktion af solplettallet siden afslutningen på sidste istid. Solaktiviteten i 1900-tallet var den højeste i mere end 10.000 år.

Nyere forskning

I en serie efterhånden klassiske artikler fra 1987 og frem viste Karin Labitzke og Harry van Loon [7] fra NCAR i Boulder, Colorado, at der var en overbevisende korrelation mellem temperaturerne i stratosfæren og antallet af solpletter. I begyndelsen brugte forskerne data for perioden 1958-1986, og på trods af en vis skepsis har korrelationen vist sig at holde selvom perioden nu er udvidet til 1942-2010, dvs. over cirka seks solcykler. Siden er robuste korrelationer blevet observeret (figur 7 og 8) mellem solaktivitet og klimaparametre som ozonkoncentrationer, temperatur, vind, skyer, nedbør og cirkulationer i atmosfæren som den Nordatlantiske Oscillation (NAO) [9].

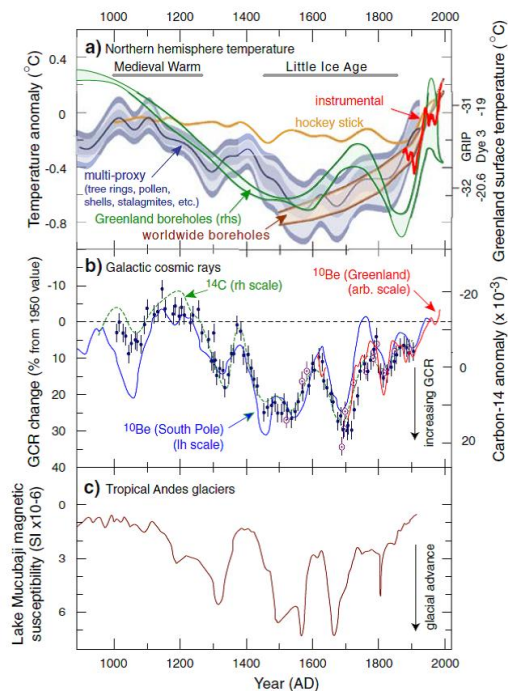


Figure 7. Korrelationer gennem de sidste 1.000 år i henholdsvis: (a) klodens gennemsnitstemperatur, baseret på forskellige rekonstruktioner, (b) solaktiviteten, baseret på produktionen af radioaktive isotoper (Be-10 og C-14), samt (c) ændringer i størrelsen af en gletsjer i den tropiske del af Andesbjergene i Venezuela. [8].

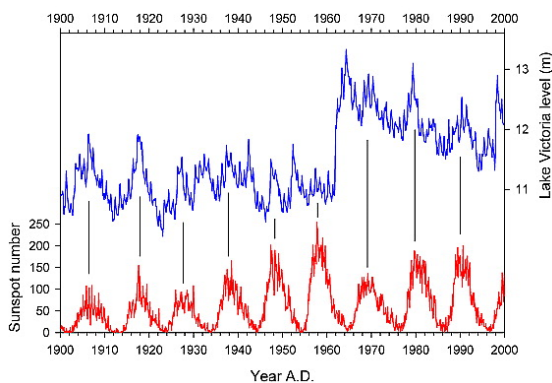


Figure 8. Korrelation mellem vandstanden i Victoriasøen og antallet af solpletter.

Desuden har analyser af bla. sedimenter fra Nordatlanten (hvor mængden af materiale er et udtryk for antallet af isbjerge) og sammenligninger med rekonstruktioner af fortidens solaktivitet vist en overbevisende korrelation med Jordens klima, der går 12.000 år tilbage i tiden (figur 9). Der er således ikke længere tvivl om, at variationer i Solens stråling påvirker klimaet, men der er til gengæld uenighed om størrelsen af effekten, og også mange forslag til hvilke mekanismer, der overfører Solens påvirkning. Korrelationer er i sig selv ikke nok til at afsløre den fysiske mekanisme og i forhold til de store energistrømme i Jordens klimasystem er variationerne i den direkte påvirkning fra Solen ret beskedne, så der er brug for mekanismer, der kan forstærke effekten. Groft sagt kan man gruppere idéerne i to grupper, hvor den ene involverer klimasystemets

respons på den direkte variation i Solens udstråling, og den anden gruppe involverer partikler udsendt fra Solen, og som enten påvirker Jorden direkte eller (i form af solvinden) modulerer intensiteten af kosmiske partikler fra verdensrummet (figur 10).

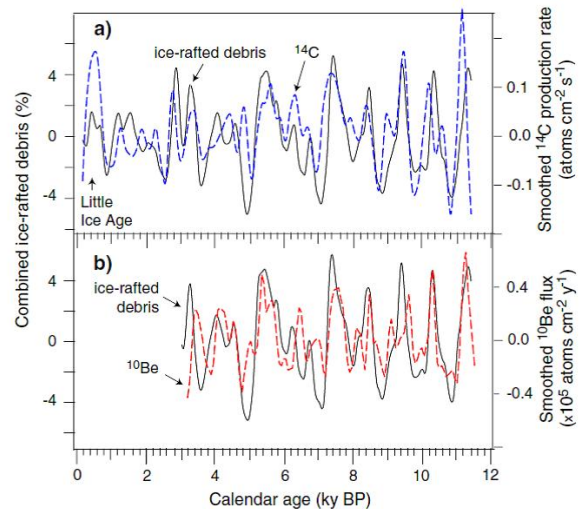


Figure 9. Korrelation mellem solaktivitet, udtrykt ved produktionen af C-14 (blå kurve) og Be-10 (rød kurve), samt mængden af materiale aflejret fra smeltende isbjerge i Nordatlanten (sorte kurver) [8].

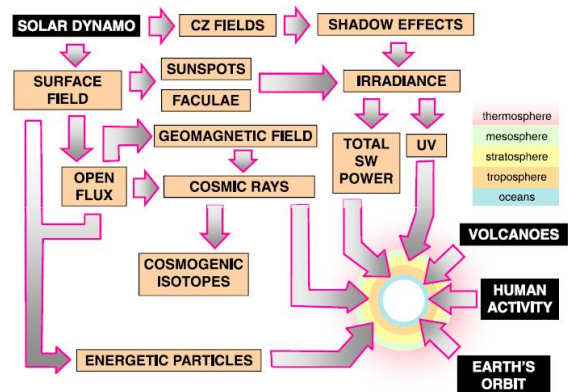
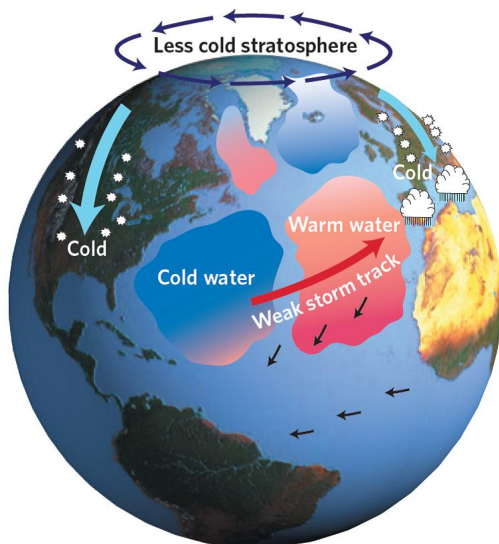


Figure 10. Oversigt over forskellige påvirkninger af Jordens klima, især hvordan ændringer i Solen kan overføres til Jorden [9].

Direkte påvirkninger

Den direkte variation fra soludstrålingen har relativt størst virkning i stratosfæren, hvor UV strålingen absorberes og påvirker fotokemiske processer. Herfra kan virkningen af en variation i Solens UV udstråling forplante sig ned i troposfæren og f.eks. ændre fremherskende cirkulationsmønstre. For nylig offentliggjorde en britisk forskergruppe [10] således modelleringer, der viste at et solpletminimum kunne ændre vindstrømmene over Nordatlanten således, at de traditionelle vestenvinde slapper af og ikke bringer de varme luftmasser ind over Europa, der normalt giver os milde vintre. I stedet trænger kolde luftmasser ned over USA og det nordlige Europa, og giver de kolde vintre vi har oplevet de seneste to år (figur 11).

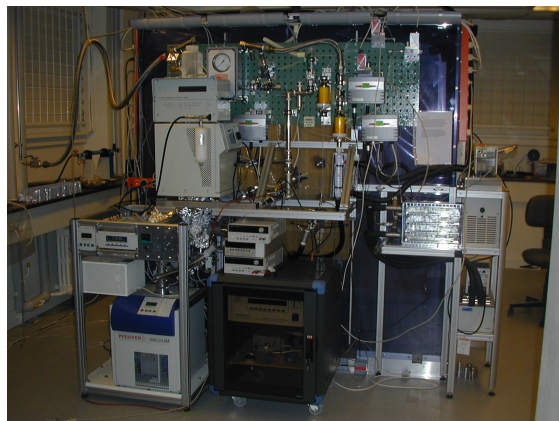


Figur 11. Den Nordatlantiske Oscillation (NAO) kan skifte mellem to tilstande (faser) og en klimamodel har nu vist, hvordan ændringer i Solens UV-stråling kan skubbe atmosfæren mellem den positive og negative NAO-fase. Figuren viser situationen under den negative fase, som har været fremherskende de foregående tre vintre. De fugtige og milde vestenvinde fra Atlanterhavet mister styrke og i stedet strømmer der kold luft fra polarområdet ned over Europa og giver de meget kolde vintre.

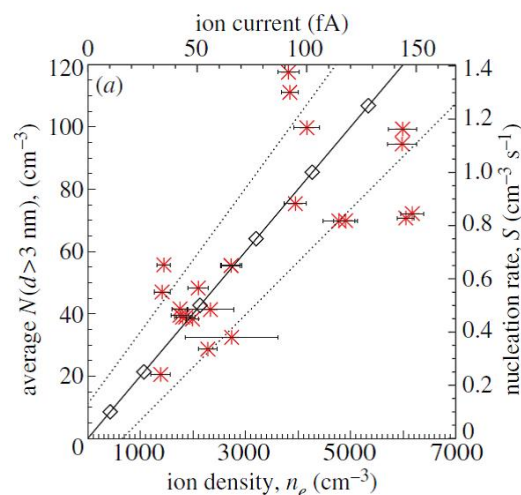
Indirekte påvirkninger

Solens udstråling af partikler kan som nævnt også modulere mængden af kosmiske partikler, der når ned i Jordens atmosfære. Her ioniserer de kosmiske partikler molekylerne i atmosfæren, og den resulterende koncentration af ioner varierer derfor også i takt med Solens ændringer. Eksperimenter udført ved DTU [11], Aarhus Universitet [12] og på CERN [13] har de seneste år vist, at ioner er med til at fremme kondenseringen af gasser i atmosfæren til små klynger eller aerosoler af nanometer-størrelse (figur 12 og 13). Små klynger dannes konstant i atmosfæren, men om de vokser sig større er en konkurrence mellem fordampning fra og kondensering på klyngen, og her virker ladning på klyngen stabiliserende fordi Coulomb-tiltrækningen forhindrer molekylerne i at fordampe. Mekanismen kaldes ion-induceret nukleation og der er nu udviklet flere modeller, der inkluderer mekanismen [14, 15]. En lille aerosol på nogle få nm påvirker klimaet direkte, fordi den reflekterer en del af solindstrålingen, men hvis aerosolen vokser sig til en skydråbe, får den langt større betydning, da skyer har en stor effekt på Jordens klima. I så fald er mekanismen, at ændringer i Solaktiviteten ændrer intensiteten af kosmiske stråler, som igen ændrer mængden af skyer i Jordens atmosfære, og dermed får klimaet til at blive varmere (færre skyer) eller koldere (flere skyer). En aerosol skal dog op på en størrelse på omkring 80-100 nm, før den kan gøre sig håb om at blive til en skydråbe, og nogle modeller [15] antyder, at produktionen af små aerosoler ikke er vigtig for hvor mange store aerosoler det resulterer i, fordi de små aerosoler blot konkurrerer om de samme kondenserbare gasser i atmosfæren eller støder ind i hinanden og dermed bliver til færre store aerosoler. Der

er derfor et stort behov for eksperimenter, hvor man kan følge aerosolernes vækst gennem mange timer. Det kræver et stort aerosolkammer, så partiklerne ikke går tabt for hurtigt i kollisioner med væggene, men sådanne forsøg er nu undervejs både på DTU og på CERN.



Figur 12. Forsøgsopstilling på DTU Space til måling af aerosoldannelse.



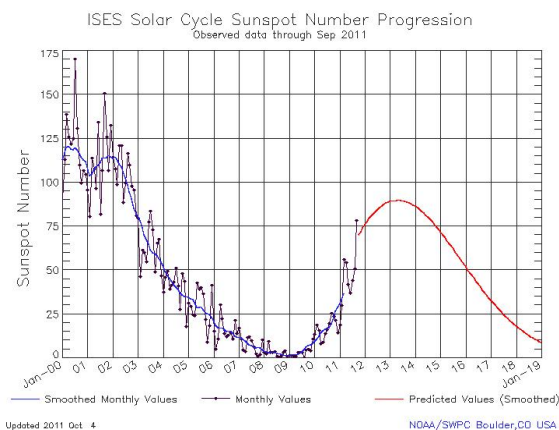
Figur 13. Målinger ved DTU Space har vist, at der er et sammenhæng mellem antallet af ioner i atmosfæren og produktionen af aerosoler på 3 nm [11]. Stjerneerne er eksperimentelle målinger, mens ruderne er resultatet af en modelberegning.

Fremtiden

Solaktiviteten har været voksende gennem 1900-tallet, men i det nye årtusinde er aktiviteten dalende. Den seneste solcyklus, der sluttede i december 2008 har været usædvanlig langvarig, nemlig 12,6 år, hvilket er det længste i over 200 år, og man tager den lange solcyklus som et tegn på at Solen er blevet svagere. Vi skal også tilbage til starten af 1900-tallet for at finde en cyklus, hvor der har været lige så mange dage helt uden solpletter. Solens opførsel er derfor usædvanlig i øjeblikket, og der har været spekulationer om, at Solen er ved at gå ind i et meget dybt minimum svarende til Maunder-minimummet (1645-1715). Som det ses af figur 5 var solaktiviteten i starten af 1800-tallet nede i et minimum – Dalton-Minimummet (efter den

engelske meteorolog John Dalton) – og med den 210-årige Suess-cyklus passer det meget godt med Solens forhistorie, at der er et nyt minimum på vej.

Desværre er vores forståelse af Solens dynamik ikke god nok til at vi kan konstruere modeller, der kan give en pålidelig forudsigtelse af Solens opførsel flere år ude i fremtiden. Det skyldes ikke-lineære effekter i den dynamo, der producerer Solens magnetfelt, som er ansvarlig for solaktiviteten, men et forsøg fra NASA's Center for Rumvejrforudsigelser [16] er alligevel vist i figur 14. Her er gættet, at det kommende solmaksimum i foråret 2013 vil være endnu mindre end det seneste maksimum i marts 2000, men det skal understreges, at indtil nu har langt de fleste gæt vist sig at være helt forkerte. Hvis man kan bruge fortiden som rettesnor, så ser det kommende solmaksimum dog ud til at blive kraftigere end de sidste to cykler, der gik forud for Maunder-minimummet, og i så fald er et nyt stort minimum derfor mindst to årtier ude i fremtiden. Den høje solaktivitet i sidste halvdel af 1900-tallet omtales nu som det "moderne maksimum", og historien har vist at 40 år efter et stort maksimum er sandsynligheden for et stort minimum kun 8 %. Halvdelen af de store maksimummer har endda vist sig at blive efterfulgt af endnu et stort maksimum inden et stort minimum indtraf [17], så hvis vi stadig holder os til historien, er sandsynligheden for et stort minimum altså beskeden indenfor den næste generation, og det næste ekstremum kan lige så godt blive endnu et maksimum i stedet for et minimum.



Figur 14. Antallet af solpletter (gennemsnit per måned) siden 2000. Den røde kurve viser en forudsigtelse for resten af den igangværende solcyklus [14].

Hvad der vil ske, hvis Solen går helt i dvale som under Maunder-minimummet, er et åbent spørgsmål, men det kan sætte en del af den klimaforbedring over styr, der er sket siden afslutningen på den lille istid. Som man kan se af figurerne 7 og 9 er der en god korrelation mellem Solens aktivitet og Jordens klima siden istidens afslutning, så alt andet lige vil det blive koldere. I samme periode kan CO₂ ikke have været ansvarlig for klimavariationerne eftersom CO₂-koncentrationen har været næsten konstant indtil industrialiseringen. Det har som bekendt ændret sig siden og derfor vil konsekvenserne af en lav solaktivitet blive modvirket af

menneskeskabte ændringer af bl.a. atmosfærens sammensætning. Den globale temperatur er steget siden midten af 1900-tallet, og ifølge FN's klimapanel (IPCC) er det "meget sandsynligt", at det skyldes udledning af drivhusgasser, især CO₂.

IPCC

Siden slutningen af 1990'erne er den globale temperatur ikke steget, og det er nærliggende, at det hænger sammen med den lavere solaktivitet. Den tanke vinder dog ikke genklang hos IPCC, der vurderer at kun 8% af klimaændringerne skyldes Solens aktivitet. Panelet indrømmer dog, at tallet er meget usikkert, eftersom kvantificeringen af Solens bidrag til klimaændringerne er meget ufuldstændig. De fleste store klimamodeller (Global Circulation Models) inkluderer således kun en brøkdel af de mange bidrag fra Solen til Jordens atmosfære. Typisk bruger modellerne den totale solindstråling og strålingen i UV-området som input, mens de komplekse effekter af variationer i solvinden, magnetfeltet og partikler fra Solen eller kosmiske partikler negligeres. Som nævnt tidligere kan en lille ændring i Solens udstråling tænkes at udløse et skifte i de fremherskende vindsystemer på Jorden og dermed ændre klimaet, og hertil kommer at de mange påvirkninger fra Solen vil virke samtidigt.

Hvis IPCC har ret i, at Solen er nærmest uden betydning, så behøver vi naturligvis hverken at bekymre os om dens udfordsigelige opførsel eller kommende ekstremer. Hvis IPCC derimod ikke har ret i vurderingen af Solens rolle, så betyder det, at CO₂ har en mindre andel i de sidste 50 års temperaturstigning, men det aflyser jo ikke fremtidige klimaændringer, for alt tyder på, at klodens CO₂ udslip vil fortsætte med at stige i de kommende årtier, og en nedgang i Solaktiviteten vil i så fald blot udsætte virkningen af de øgede CO₂-koncentrationer.

For tiden arbejder IPCC på sin femte rapport, og der cirkulerer allerede nu et første udkast til rapporten, som jeg dog ikke har set og som man i øvrigt heller ikke må citere fra, men som ifølge rygterne indeholder et afsnit (nummer 7.4.7.2) om kosmiske partikler og aerosoler/skyer. Stadigt ifølge rygterne skulle formuleringerne være ekstremt forsigtige, men IPCC's konklusion er dog, at kosmiske stråler ikke er vigtige.

Her vil jeg imidlertid mene, at IPCC's konklusioner heller ikke er så vigtige. Ideelt set skulle IPCC efter min mening sammendrage den eksisterende viden på klimaområdet og herunder også i sine rapporter objektivt gøre rede for de uenigheder og modstridende synspunkter, der eksisterer blandt forskerne. Desværre fungerer IPCC mere som et politisk organ, der producerer de argumenter, politikerne ønsker at bruge som grundlag for beslutninger. IPCC bryster sig gerne af de over 2.000 deltagende forskere, men reelt skrives rapporterne af et lille antal hovedforfattere, som ofte kender hinanden i forvejen og citerer hinandens artikler, mens de mange bidragsydere ikke har nogen indflydelse på hverken indhold eller konklusioner. Den lakkede e-mail korrespon-

dance mellem nogle af de centrale IPCC-forfattere, som blev kendt under betegnelsen Climategate, viser således hvordan flere af forfatterne optræder mere som politikere end forskere og for eksempel udmærket er klar over, at der er problemer med deres data og konklusioner, men i stedet drøfter hvordan de skal undgå at udlevere deres datamateriale samt forhindre, at konkurrerende forskere får offentliggjort deres artikler. I midten af november blev endnu en samling e-mails offentliggjort [18] og indholdet bekræfter desværre endnu engang dette indtryk.

I årevis har der således været mystik om flere rekonstruktioner af Jordens klima gennem de sidste 1.000-2.000 år, især den berømte Hockeystav (den gule kurve i figur 7a), som samstemmende viser, at klimaet var nærmest konstant indtil temperaturen begyndte at stige voldsomt i starten af 1900-tallet. Hockeystaven har derfor fået nærmest ikon-status i klimadebatten som et tydeligt bevis på, at mennesket var skyld i en global opvarmning. Imidlertid har forskerne bag de forskellige "hockeystave" ikke villet lade andre forskere få adgang til deres data eller computermodeller.

Man har naturligvis ikke temperaturmålinger så langt tilbage i tiden og er derfor nødt til at beregne en temperatur på grundlag af indirekte målinger af f.eks. årringstykkelser i træer, ligesom de områder, man har målinger fra, ikke er jævnt fordelt over Jordkloden. Alt dette sker ved hjælp af forskellige statistiske metoder, og ved ikke at lade andre efterprøve deres resultater, har disse klimaforskere kortsluttet de normale videnskabelige metoder, der normalt sikrer forskningen mod fejl og fusk.

Hvor galt det kan gå i dette krydsfelt mellem forskning og politik, er beskrevet i en nylig bog af Andrew Montford [19], som har samlet hele historien omkring Hockeystaven og samtidig formået at gøre den spændende som en kriminalroman. Det sidste kapitel i bogen handler i øvrigt om den første serie Climategate e-mails, så måske kommer der snart en fortsættelse på bogen.

Litteratur

- [1] Den originale tekst og en engelsk oversættelse af Theofrast *De Signis* kan findes her: http://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/-Theophrastus/De_signis*.html
- [2] D. V. Hoyt og K. H. Schatten (1997), *The Role of the Sun in Climate Change*, Oxford University Press, U. K.
- [3] J.M. Vaquero og M. Vázquez (2009), *The Sun Recorded Through History*, Springer.
- [4] R. Cohen (2010), *Chasing the Sun*, Simon & Schuster, U.K.
- [5] G. Tsiropoula (2003), Signatures of solar activity variability in meteorological parameters, *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.*, bind **65**, side 469-482.
- [6] W. Herschel fik dog publiceret sine overvejelser i 1801 i artiklen: *Observations tending to investigate the nature of the Sun, in order to find the causes or symptoms of*

its variable emission of light and heat: With remarks on the use that may possibly be drawn from solar observations, *Philos. Trans. R. Soc. London*, bind **91**, side 265-318.

- [7] Se f.eks. K. Labizke og H. van Loon (1988), Associations between the 11-year solar cycle, the QBO and the atmosphere. Part I: The troposphere and stratosphere in the northern hemisphere in winter, *J. Atmos. Terr. Phys.*, bind **50**, side 197-206.
- [8] J. Kirkby (2007), Cosmic Rays and Climate, *Surv. Geophys.*, bind **28**, side 333-375.
- [9] L.J. Gray m.fl. (2010), Solar influences on climate, *Rev. Geophys.*, bind **48**, RG4001.
- [10] S. Ineson m.fl. (2011), Solar forcing of winter climate variability in the Northern Hemisphere, *Nature Geosci.*, bind **4**, side 753-757.
- [11] H. Svensmark, J.O.P. Pedersen, N.D. Marsh, M.B. Enghoff og U.I. Uggerhøj (2007), Experimental evidence for the role of ions in particle nucleation under atmospheric conditions, *Proc.Roy.Soc.* bind **463**, side 385-396.
- [12] M.B. Enghoff, J.O.P. Pedersen, U.I. Uggerhøj, S.M. Paling og H. Svensmark (2011), Aerosol nucleation induced by a high energy proton beam, *Geophys. Res. Lett.* bind **38**, L09805.
- [13] J. Kirkby m.fl. (2011), Role of sulphuric acid, ammonia and galactic cosmic rays in atmospheric aerosol nucleation, *Nature*, bind **476**, side 429-433.
- [14] J.R. Pierce og P.J. Adams (2009), Can cosmic rays affect cloud condensation nuclei by altering new particle formation rates?, *Geophys. Res. Lett.*, bind **36**, L09820.
- [15] F. Yu, Z. Wang, G. Luo og R. Turco (2008), Ion-mediated nucleation as an important global source of tropospheric aerosols, *Atmos. Chem. Phys.*, bind **8**, side 2537-2554.
- [16] NOAA Space Weather Prediction Center (<http://www.swpc.noaa.gov>).
- [17] S.K. Solanki og N.A. Krivova (2011), Analyzing Solar Cycles, *Science*, bind **334**, side 916-917.
- [18] Climategate 2 FOIA 2011 – Searchable Database, <http://foia2011.org/>
- [19] A. Montford (2010), *The Hockey Stick Illusion: Climategate and the Corruption of Science*, Stacey International,



Jens Olaf Pepke Pedersen er seniorforsker på DTU Space og medlem af Kvants redaktion. Han arbejder især med eksperimentelle undersøgelser af ionernes rolle i dannelsen af aerosoler i Jordens atmosfære. Han er desuden medlem af styregruppen for et europæisk samarbejdsprojekt (COST action ES1005) med titlen "Towards a more complete assessment of the impact of solar variability on the Earth's climate".