

Er der nogen sammenhæng?

Af Peter Stauning,
emeritus, DMI

Indledning

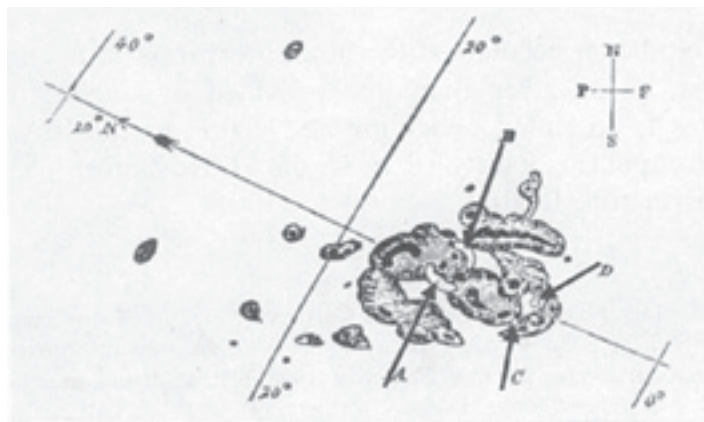
Spørgsmålet om en eventuel sammenhæng mellem Solens aktivitet og klima har i lang tid optaget sindene rigtigt meget. Forståeligt nok, da klimaet for tiden synes at være ude af kontrol med de betydelige globale temperaturstigninger, som allerede er indtruffet, og endnu voldsommere temperaturstigninger i vente indenfor en overskuelig fremtid ifølge prognoserne. Formålet med denne artikel er at søge at sætte konkrete tal på temperaturændringer, som direkte kan tilskrives Solens aktivitet. Resultatet af analysen er, at der statistisk er en sammenhæng, som kan udtrykkes ved: $\Delta T_A = 0.009 (\pm 0.002) \cdot SSN_A$ hvor SSN_A er middel-solplettallet over en solpletperiode (ca. 11 år), mens ΔT_A er det globale gennemsnit af temperaturanomalien (i forhold til et reference niveau) midlet over samme periode, som dog er forskudt 3 år. Da den højeste værdi af middel-solplettallet gennem de seneste 400 år, hvor det kendes med nogen nøjagtighed, er $SSN_A = 90$ (i perioden, der toppede i 1959), mens det lavest mulige er 0, så fremgår det, at temperaturudsvingene knyttet til Solens aktivitet højst kan være 0.4 grader op eller ned i forhold til et middelniveau. Så er det sat

på plads i forhold til den løbende diskussion om menneskeskabte temperaturændringer.

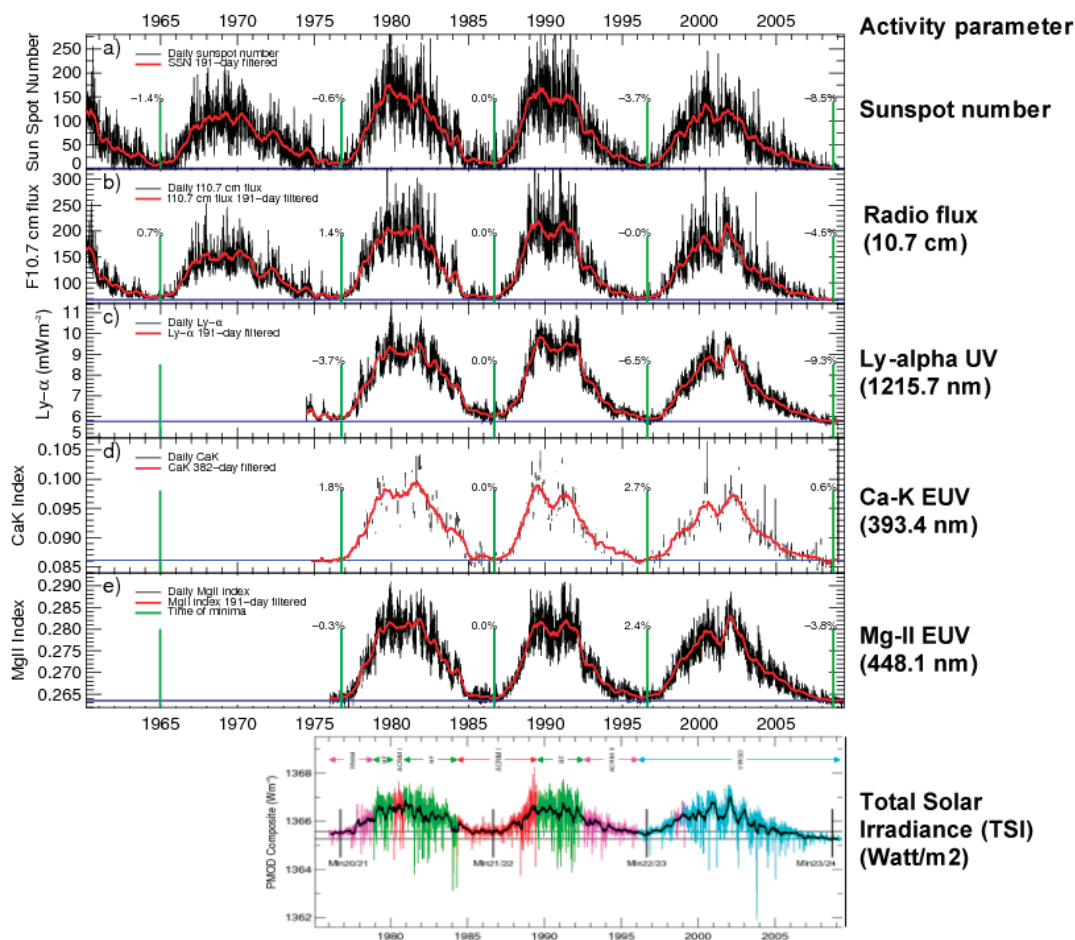
Solaktivitet

I analysen (Stauning, 2011) antages, at Solens aktivitet kan udtrykkes ved solplettallet $SSN = k (s + 10g)$, hvor s er antallet af solpletter og g antallet af solpletgrupper, mens k er en kalibreringskonstant, der skal sikre, at forskellige observatorier kommer frem til samme solplettal. Hvorfor nu benytte solplettallet, der jo er en ret svævende størrelse i forhold til mere direkte målinger fra satellitter af Solens udstråling og af solvinden, udstrømningen af ioniseret gas fra Solen? Den væsentligste grund er længden af det tidsinterval, hvor man har pålidelige målinger af de forskellige mulige indikatorer af solaktivitet. Solplettallet kan rekonstrueres tilbage til omkring 1850 med rigtig

god nøjagtighed, da astronomer da begyndte rutinemæssigt at optegne billeder af pletterne på Solens uregelmæssige overflade, som med kikkert blev projiceret på halvgennemsgigtigt papir. Et berømt eksempel er Robert C. Carringtons optegnelser af en "solar flare" (lysende soludbrud) i en kompleks solpletgruppe den 1. september 1859. Dette udbrud resulterede i den hidtil kraftigste registrerede magnetiske storm (Carrington-stormen), der blokerede telegraflinier og ødelagde telegrafudstyr over store dele af Europa og Nordamerika. Carringtons optegnelser er vist i Figur 1. I skitsen startede de lysende udbrud i positionerne A og B, mens de sluttede i positionerne C og D. Med endnu tidligere, men ikke så præcise optegnelser kan solplettallet føres tilbage til omkring år 1600 dog med nogen usikkerhed.



Figur 1. Carringtons skitse af solpletter og soludbrud den 1. september 1859. (fra Carrington 1860)



Figur 2. Sammenstilling af forskellige målinger af Solens aktivitet. (fra Fröhlich, 2009)

Men hvor dækkende er solplettallet nu for solens udstråling? I godt 50 år er Solens udstråling målt ved bølgelængden 10.7 cm i radio (radar) området, der også repræsenterer Solens aktivitet. I de senere år er der udført målinger fra satellitter ved UV og EUV bølgelængder, der ligeledes repræsenterer solaktivitet. Senest er variationer i Solens totale udstråling (Total Solar Irradiance, TSI) målt fra forskellige satellitter, hvor der dog er nogen usikkerhed omkring basis niveauer. En sammenligning af de forskellige målinger er vist i

Figur 2. De forskellige farver i diagrammet for TSI viser måleserier fra forskellige satellitter.

Som det fremgår af Fig. 2 er der god overensstemmelse mellem solplettallet (øverst) og de mere moderne og formentlig også mere repræsentative UV, EUV og TSI målinger af solaktivitet. Og så er den lange dataperiode for solplettallet jo afgørende for en pålidelig statistik. I analysen her anvendes solplettallet udgivet af Solar Influences Data Centre (SIDC) i Belgien i samarbejde med National Oceanic and Atmospheric Adm. NOAA i Boulder, USA.

Globale temperaturer

Pålidelige globale temperaturserier forudsætter, at to forhold er på plads. For det første gode termometre. Men for det andet skal der være en rimelig global dækningsgrad, så lokale temperatursvingninger, som f.eks. den Nordatlantiske Oscillation, NAO, eller El Niño/La Niña, ikke influerer resultatet i for høj grad. Med disse begrænsninger kan man næppe gå længere tilbage end til 1850, som er starttidspunktet for temperaturserierne publiceret af Hadley UK Meteorologiske Center i samarbejde med East Anglia

Universitetet i England (Brohan et al., 2006). Serierne omfatter målinger fra den nordlige (nh) og sydlige (sh) halvkugle eller globalt dækkende (gl) og forskellige typer temperaturdata, der opdeles i overfladetemperaturer over land ("land-surface") som CruTem3-gl/nh/sh, havoverflade ("sea-surface") temperaturer som HadSST2-gl/nh/sh samt de kombinerede (land-surface/sea-surface) temperaturserier HadCruT3-gl/nh/sh. Den globale kombinerede temperaturdataserie HadCruT3gl benyttes her som den primære reference. Figur 3 viser en sammenstilling af temperaturer og solpletdata fra 1850 til 2010. I figuren er

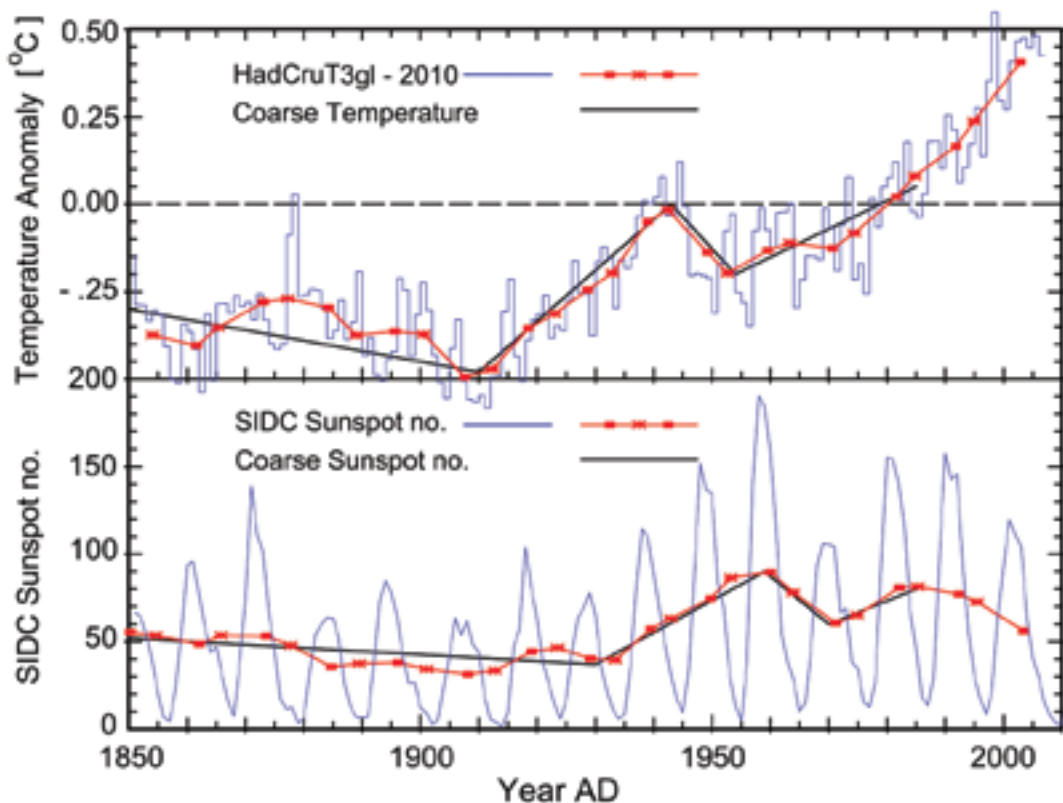
der med tynd blå linie indtegnet årlige værdier af temperaturer og solplettal. Med kraftig rød linie er der indtegnet kurver mellem punkter markeret ved firkanter eller krydser, som markerer middelværdier over solpletperioder fra henholdsvis minimum til næste minimum og fra maksimum til næste maksimum.

I figuren er tillige med lange lige streger indtegnet indikationer af variationerne over længere intervaller. Når man betragter figuren er der en slående lighed mellem variationerne i temperatur og solpletter i perioden fra 1850 indtil ca. 1980. Derefter skyder de globale temperaturer i vejret, mens solaktiviteten er

aftagende. Hvorvidt de stigende temperaturer efter 1980 skyldes menneskeskabte forhold (f.eks. øget CO₂ i atmosfæren) skal ikke diskuteres her. I det følgende skal temperaturer og solpletter sammenholdes over intervallet fra 1850 til 1980.

Reid polynomial smoothing

Der er imidlertid et stort problem for teorier om sammenhængen mellem globale temperaturer og solpletter. Det ses tydeligt i Fig. 3, at ændringer i de globale temperaturer kommer 20-25 år før tilsvarende ændringer i solplettallene. Det er naturligvis absurd at forestille sig, at stigende temperaturer på Jorden



Figur 3. HadCruT3gl globale temperaturer og SDC solplettal 1850-2010. (fra Stauning, 2011)

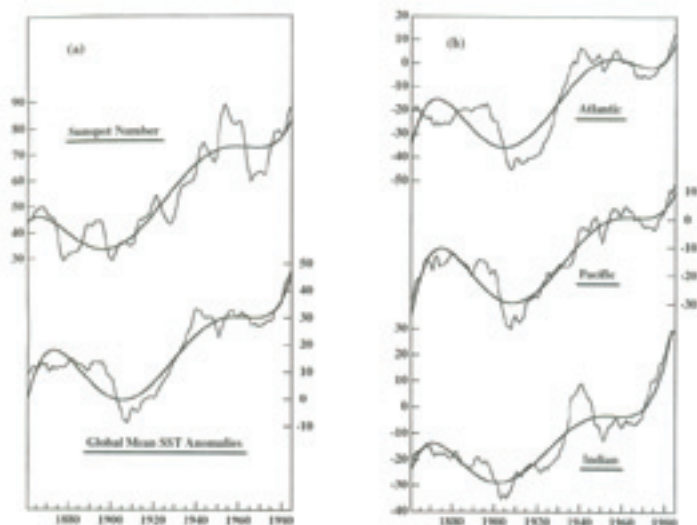
skulle fremkalde flere solpletter. Forskellige forskere har søgt at imødegå problemet. Således har George Reid i sin artikel fra 1999 (Reid, 1999) foretaget en polynomium-udglatning af variationerne, så de karakteristiske minima og maxima flyttes noget. Man kan nu med lidt god vilje få en rimelig årsag-virkning sammenhæng (solaktivitet ændrer sig før globale temperaturer). Reids grafiske fremstilling er vist i Figur 4.

Solar cycle length

Et andet forsøg på at klare den problematiske tidsforskydning blev publiceret af Egil Friis-Christensen og Knud Lassen i 1991, hvor begge i øvrigt var ansat ved DMI. De to forskere benyttede solpletperiodens længde som parameter for Solens aktivitet i stedet for solpletallet.

Solpletallet og solpletperioden har i hvert fald statistisk en vis sammenhæng, idet perioder med høje solpletal generelt er kortere end perioder med lave solpletal. Den statistiske sammenhæng er illustreret i Figur 5. Hver søjle måler korrelationen mellem solpletallet (solar sunspot number, SSN) midlet over en periode og periodelængden (solar cycle length, SCL), hvor længden er beregnet for en periode forskudt et antal solpletperioder (solar cycles). Det ses, at korrelationen (negativ) er maksimum ved forskydninger mellem 1.5 og 2.5 perioder bagud, og det er netop, hvad der er brug for, når man skal sammenholde solaktivitet og globale temperaturer.

Således blev periodelængden gjort til en repræsentativ parameter for solaktivitet i Friis-Christensen

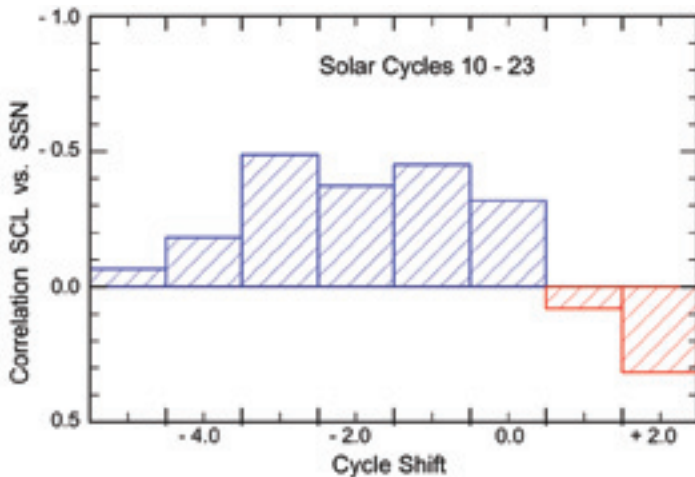


Figur 4. Solpletal og globale sea-surface temperaturer (venstre) samt temperaturer i adskilte oceaner (højre felt). (fra Reid, 1999)

sen og Lassens artikel fra 1991 (FCL91). Nu er periodelængden en meget variabel størrelse, så serien af periodelængder blev midlet med den såkaldte Gleissberg (1944) løbende vægtning, hvor længden af hver enkelt periode blev beregnet med vægtningen "1-2-2-2-1" over foregående to og efterfølgende to perioder foruden den aktuelle periode. Midlingerne blev udført separat over minimum-til-minimum (rund) og maximum-til-maximum (firkantet mærke) perioder for at skaffe den størst mulige forskydning. For længderne af de næstsidste perioder benyttedes ved Gleissberg-midlingen et skøn over fremtidige solpletperioder, mens længden af den seneste periode blev indsat sidst. Temperaturerne er blot midlet over hver enkelt solplet periode. Og miraklet skete. Der viste sig en slående sammenhæng, som er gengivet i Figur 6a. Bemærk at periodelængden ved venstre akse aftager opad.

Selv den seneste stigning i temperaturer efter 1970 følger smukt en stigning i periode-længde-kurven. Ved en senere opdatering (Lassen og Friis-Christensen, 2000), hvor nyeste data er benyttet i stedet for skønnede, er den afsluttende stigning i længde-kurven fastholdt. Det beror dog nu på trivielle regnefejl, som påpeget af Laut (2003) og Damon and Laut (2004). Figur 6b viser en gentagelse af beregningerne med nyeste data men efter helt samme metode med anvendelse af Gleissberg midling af alle periodelængder, dog med skønnede fremtidige værdier ved midlingen af tredje-sidste og næstsidste datapunkter (med usikkerhedsangivelse) og seneste periode-længde for sidste punkt. Nu ses det klart, at den nedadgående periode-længde-kurve efter 1975 afviger stærkt fra temperaturkurven, som stiger stejlt i vejret.

Det har været kritiseret, at der endnu ikke, selv nu 20 år senere,



Figur 5. Korrelation mellem solpletal og periodelængde ved forskellige skift af perioden for længden i forhold til perioden for solplettalet. (fra Stauning, 2011)

er fundet en fysisk parameter, der kan knyttes til længden af solpletperioden. Men det alvorligste kritikpunkt er dog selve midlingsprocessen. Hvis solpletperiodens længde repræsenterer Solens aktivitet, må man vente, at Jordens temperatur alene følger foregående perioder og ikke afhænger af to fremtidige perioder, som jo inddrages i Gleissberg midlingen. Samme kritik kan i øvrigt rettes mod metoden, som

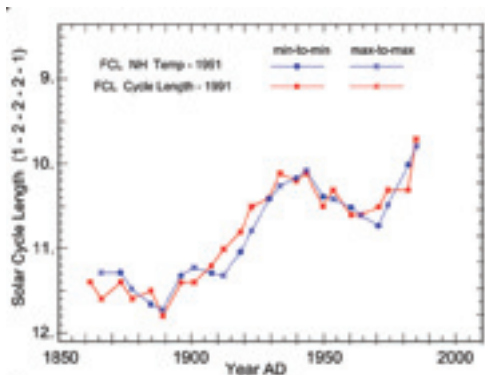
blev benyttet af Reid (1999) ved midlingen vist i Figur 4.

Kosmisk stråling og skyer

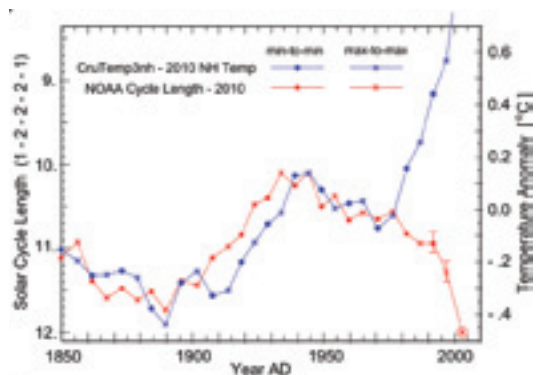
Sammenhængen mellem solaktivitet og jordiske temperaturer vist i Figur 6a blev i øvrigt forklaret af Svensmark og Friis-Christensen (1997) som resultat af skydannelse ved den galaktiske kosmiske stråling (Galactic Cosmic Radiation, GCR). Den kosmiske stråling bremses af Solens mag-

netfelt ført ud i det interplanetare rum med solvinden, udstrømningen af ioniseret gas fra Solen. Og da solvindens intensitet følger solplettalet, vil den kosmiske strålings styrke følge solplettalet som vist i Figur 7 for forskellige målestationer. Ved nedbremsningen i atmosfæren danner den energirige kosmiske stråling positive og negative ioner, der igen virker som kondensationskerner for skydannelse. Den varierende skyomængde vil i varierende grad tilbagekaste Solens varmestråling, så perioder med høj kosmisk stråling (ved solpletminima) giver øget skydannelse og lavere temperaturer, mens perioder med lavere kosmisk stråling (ved solpletmaxima) giver reduceret skydannelse, mere solindstråling og højere temperaturer.

I figur 2 i den oprindelige publikation fra 1997 varierer det totale skydække ca. 3% over en solpletperiode i takt med den kosmiske stråling med en korrelation vist i figur 5 på nær 100% ved høje bredder og ned til 50% nær ækvator. I en senere publikation



Figur 6a. Sammenligning mellem temperaturer (blå) og solplet-periode længde (rød kurve). (fra FCL91)



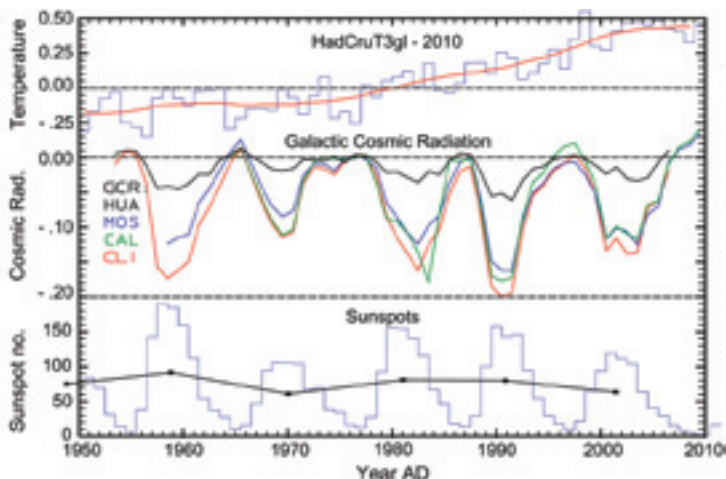
Figur 6b. Temperaturer og periode længder med seneste data men ellers samme behandling som i fig. 6a. (Stauning, 2011)

(Marsh og Svensmark, 2000) er skydækket inddelt i høje, mellemhøje og lave skyer. Positiv korrelation findes kun ved lave skyer og kun op til 50-60% i enkelte områder, mellemhøje skyer er neutrale, mens de høje skyer giver negativ korrelation.

For de lave skyer, som angiveligt udgør 46% af det samlede skydække, anfører forfatterne en variation på 2-3% over solpletperioden ud fra deres figur 1. En mere nøgtern vurdering af figuren giver ca. 1.5% variation i de lave skyer, dvs. 0.7% variation i det totale skydække. Med anvendelse af forfatternes egne tal fra 1997 svarer denne variation i skydækket til en variation på 0.2 til 0.4 W/m² i indstrålingen og en klimaeffekt svarende til 0.02 til 0.04 °C variation i globale temperatur over en solpletperiode. Altså en ret ubetydelig effekt.

Statistisk behandling af solpletter og globale temperaturer

I artiklen fra 2011 (Stauning, 2011) er solpletallet midlet over hver enkelt solpletperiode, enten fra minimum til næste minimum eller fra maximum til maximum. Globale temperaturer er midlet over nøjagtigt samme intervallængde, men intervallet er forskudt 3 år frem i tiden. Forskydningen er fundet ved korrelationsanalyse at give den bedste sammenhæng og giver god mening for årsag-virkning sammenhængen. Resultatet er vist i Figur 8, hvor de runde (røde) symboler viser max-til-max middelværdier, mens de firkantede (blå) symboler viser min-til-min værdier. Den indtegnede linie viser sammenhængen $\Delta T_A = 0.009 \cdot SSN_A$

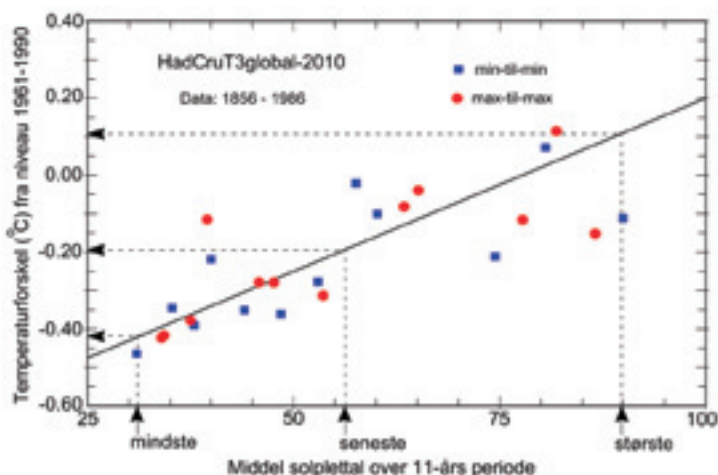


Figur 7. Galaktisk kosmisk stråling (midterste felt), globale temperaturer (øverst), solpletter (nederst) fra 1955 til 2010. (Stauning, 2011)

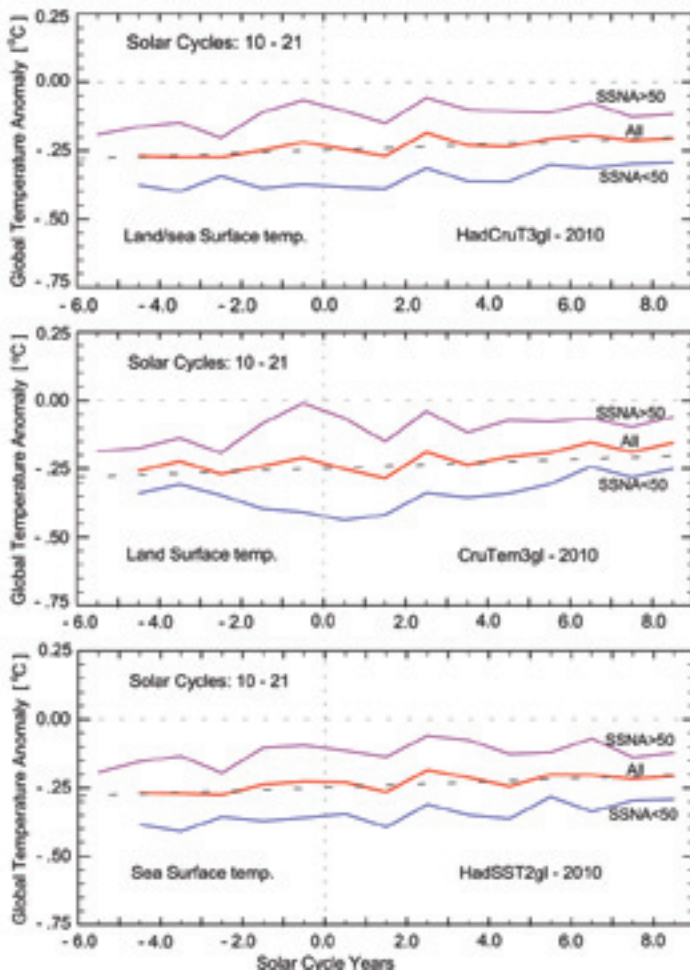
-0.70 °C, hvor ΔT_A er afvigelsen fra gennemsnitstemperaturen for perioden 1961-1990. Ud fra denne sammenhæng kan man nu bestemme udsvingene mellem det højeste middel solpletal på $SSN_A=90$, der nogensinde er registreret (perioden 1954-1965), og som giver en temperatur anomali på +0.11 °C og så f.eks. det absolut mindste solpletal på 0, som giver en anomali på -0.70

°C. Altså et totalt sving på kun 0.81 °C. Indenfor de seneste 160 år siden 1850 er den totale variation indenfor 0.5 °C.

Et sving på en halv grad ved varierende solaktivitet (se Fig.8) er naturligvis ikke helt forsvindende, men i sammenligning med forventede globale temperaturstigninger på mellem 2 og 5 (eller flere) grader forekommer det at være for ubetydeligt til at



Figur 8. Middel temperatur anomali (afvigelse fra niveau 1961-1990) vs. middel solpletal gennem alle solpletperioder fra 1850 til 1980. Linien har hældningen 0.009°C. (Stauning 2011)



Figur 9. Gennemsnitlige variationer i forskellige temperaturserier gennem solpletperioden med opdeling i perioder med høje og lave solpletletal. (Stauning, 2011)

blive inddraget som et væsentligt element i diskussionerne om mulige menneskeskabte temperaturændringer. Denne konklusion kan betragtes som det væsentligste resultat af ovennævnte publikation.

Variationer gennem 11-års perioden

Når man skal finde variationer gennem solpletperioden, som har en varierende længde mellem ca. 9 og 14 år, kan man ikke anvende klassisk harmonisk ana-

lyse. I stedet kan man anvende en superpositionsmetode, hvor temperaturforløb indenfor solpletperioden centrerer om midteltidspunkterne for hver enkelt periode og overlejes, hvorefter middelværdierne beregnes. Her ved danner man middelværdier f.eks. kun af de temperaturer, der forekommer ved solpletmaksimum eller kun af de temperaturer, der forekommer ved solpletminimum.

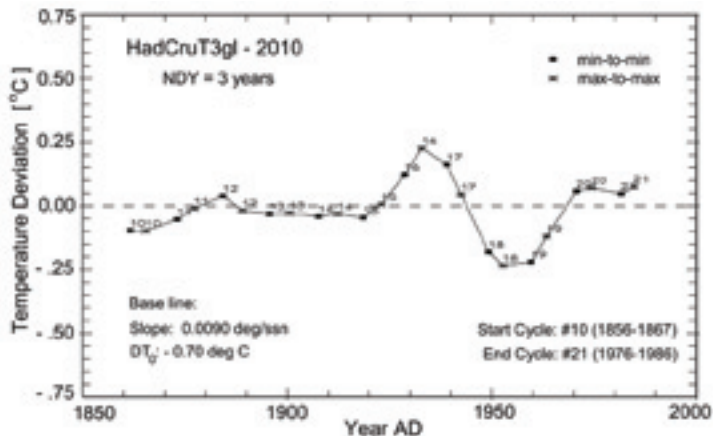
Resultaterne fra anvendelsen af denne metode er vist i Figur

9. Foruden den generelle stigning i temperaturer, der svarer til stigningen fra 1850 til 1980, er et fællestræk for alle temperaturserier en forøgelse af middeltemperaturen mellem 2 og 3 år efter midten (0.0 år i diagrammet) af solpletperioden. Tidsmæssigt svarer det til de 3 års forsinkelse mellem solaktivitet og globale temperaturer, der blev fundet ved korrelationsanalysen, og udsvinget kan nemt forklares ved variationen i total udstråling (TSI) fra Solen (se Figur 2).

Et andet træk er stigningen ca. et halvt år før midten af perioden, som dog kun forekommer i temperaturserierne for de intense solpletperioder ($SSN_A > 50$). Da solaktiviteten (f.eks. soludbrud) generelt topper et halvt til et helt år før midten af perioden, kan denne forøgelse kobles til de umiddelbare virkninger af soludbrud. Det er formentlig også signifikant, at udslaget er størst for de landbaserede temperaturer i midterste diagram og mindst for de oceanbaserede temperaturer i nederste diagram, hvor den større træghed i temperaturvariationer dæmper udsvingene. Det er dog karakteristisk, at de gennemsnitlige variationer indenfor solpletperioden kun udgør nogle få hundrededele af en grad. Disse resultater er det andet vigtige resultat af analysen i Stauning (2011).

Tidsforskydning mellem solpletter og temperaturer

Med den trods alt positive tilgang til sammenhængen mellem solaktivitet og jordiske temperaturer mangler endnu svar på problemet med den "forkerte" tidsforskydning mellem solplet-



Figur 10. Temperaturafvigelse fra linien i Fig. 8 i tidsrummet fra 1854 til 1984. (Stauning, 2011)

tallet og globale temperaturer. I et forsøg på at forstå tidsforskydningen er temperaturafvigelserne fra linien i Figur 8 optegnet i Figur 10 som funktion af tiden mellem ca. 1856 og 1984. Solpletperiodens nummer er angivet ved hvert enkelt punkt.

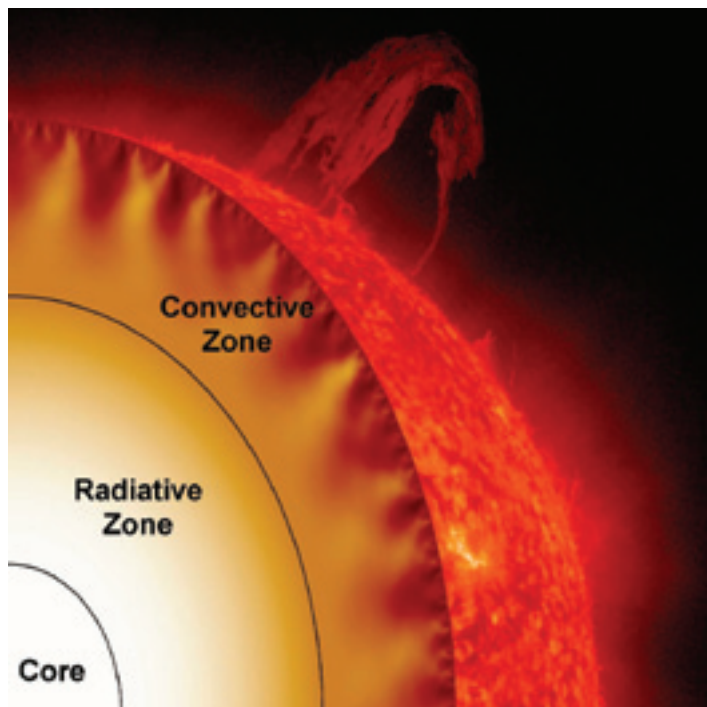
Det ses, at der er et næsten sinusformet udsving med et positivt sving fra 1920 til 1933 og et negativt sving mellem 1934 og 1957. Begge udsving kan naturligvis være resultat af en indtil videre ukendt periodicitet i klimaforhold på Jorden. Men det er bemærkelsesværdigt, at begge udsving har en varighed på to solpletperioder. Nu er det sådan, at Solens magnetfelt skifter retning i hver ny solpletperiode, så en komplet solpletperiode (en såkaldt "Hale cycle") er i virkeligheden på to 11-års solpletperioder, altså netop med en længde, der svarer til hvert temperatursving.

Man kunne se lidt nærmere på Solens struktur. Figur 11 vi-

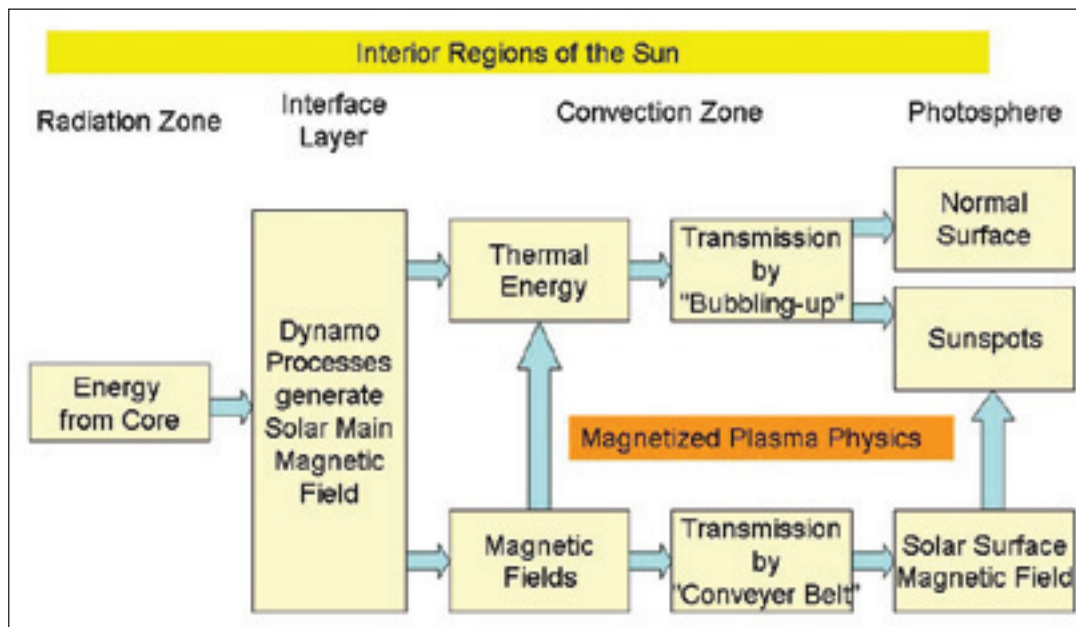
ser et (tænkt) indsnit i Solen. Inderst er der en kerne, hvor de energigivende fusionsprocesser finder sted. Energien forplanter sig i begyndelsen ved stråling gennem den såkaldte "strålingszone", der går fra 0.2 ud til 0.7

solradier. Længere ude forplanter energien sig ved konvektion gennem "konvektionszonen" op til overfladen, "fotosfæren", hvorfra den i hovedsagen udsendes ved lys- og varmestråling, mens en mindre del af energien udsendes som energirig ioniseret gas, "solvinden". Solens generelle magnetfelt menes at blive skabt ved strømsystemer, der forløber i det såkaldte "interface lag" mellem strålingszonen og konvektionszonen. Solens generelle magnetfelt er ligesom Jordens et dipolfelt og har magnetiske poler nogenlunde sammenfaldende med de heliografiske (rotationsakse) poler. Men feltet skifter polaritet for hver ny 11-års solpletperiode.

Solpletterområder i fotosfæren med stærke lokale magnetfelter, der menes at blive dannet



Figur 11. Indsnit i Solen. (mfsc-nasa)



Figur 12. Skematisk illustration af udbredelsen af termisk energi og magnetfelter i Solens indre.

ved "fortætning" af det generelle magnetfelt. Da forplantningen af den termiske energi forsinkes af kraftige magnetfelter har solpletterne lavere temperaturer end den omgivende fotosfære og er derfor mørkere. De starter i begyndelsen af hver ny periode med at komme til syne ved høje nordlige og sydlige bredder på Solen for så i løbet af 11-års perioden at dukke op nærmere mod ækvator. De optræder ofte i par med modsat polaritet, hvor den ledende solplet (forrest i rotationsretningen) systematisk skifter polaritet fra periode til periode.

Både intensiteten af den termiske energi, der bobler op gennem konvektionszonen, og af dynamoprocesserne ved interface laget, der bestemmer magnetfeltets styrke, afhænger af den totale energi, der tilføres fra kernen. Denne energi kunne tænkes at have variationer, der bl.a.

afspejles i langtids-variationerne i middel-solpletallet. Ved langsomme variationer vil magnetfelter, og dermed solpletterne, og udstrålingen fra fotosfæren følges ad. Nu er spekulationen, at magnetfeltets styrke ved interface laget kan påvirke transmissionen af energi gennem denne region ligesom ved solpletter i fotosfæren, så et svagt magnetfelt lader energien slippe lettere igennem, mens et kraftigere magnetfelt forsinkes energiens forplantning. Tillige forplanter magnetfeltet sig ud til overfladen ved mekanismer ("conveyor belt"), der er forskellige fra udbredelsen af termisk energi og tager længere tid. Forholdene er vist skematisk i diagrammet i Figur 12.

Hvis vi nu igen betragter forløbene i Figur 3, så ser der ud til at ske en kraftig stigning i solpletallet i første halvdel af 1900-tallet. Det kunne tages som tegn på ud-

vikling af et stærkere magnetfelt i Solens indre. I den første tid er magnetfeltet svagt og den termiske energi slipper lettere igennem og resulterer i øget udstråling fra Solen. Jordens temperatur stiger hurtigt. Senere, når magnetfeltet er vokset op og solpletterne er på vej til at toppe, forsinkes energien og udstrålingen reduceres. Jordens temperatur falder noget, inden forholdene jævnes ud, da den termiske energi blot forsinkes, men naturligvis ikke forsvinder. Denne mekanisme kunne forklare temperaturudsvingene i Figur 10 og dermed den "forkerte" tidsforskydning på 20-25 år mellem solpletallet og temperaturer vist i Figur 3.

Konklusioner

I artiklen (Stauning, 2011) konkluderes, at den globale temperatur afhænger af Solens aktivitet, som kan angives ved solpletallet

let. Virkningen antages at bero på (små) ændringer i Solens totale energiidstråling. På Jordens position og udenfor atmosfæren er styrken af den modtagne stråling, TSI = ca. 1366 W/m². Globale temperaturændringer er knyttet til mulige variationer i strålingen gennem: ΔT [°C] $\sim 0.11 \Delta TSI$ [W/m²] (Dougrass and Clader, 2002).

- Ved statistisk undersøgelse af sammenhængen mellem solplet-tal og global temperaturanomali midlet over solpletperioder og for tidsrummet fra 1850 til 1980 er der fundet en relation, som kan udtrykkes ved ΔT_A [°C] $\sim 0.009 (\pm 0.002) \cdot SSN_A$. Det samlede udsving fra middel-solplet-tal=0 til det maksimale middel-solplet-tal=90 er 0.8 °C svarende til en total variation i TSI på ca. 7 W/m².

- Indenfor solpletperioden forekommer systematiske variationer med maxima på ca 0.10 °C forskudt 2-3 år efter midten af solpletperioden. Denne variation passer sammen med målte variationer i TSI over de seneste solpletperioder. For de kraftigste solpletperioder ($SSN_A > 50$) forekommer et maximum på 0.10 til 0.15 °C i landbaserede temperaturer et halvt til et helt år før midten af perioden. En del af denne variation kunne svare til de direkte virkninger af soludbrud (UV-stråling, øget solvind, GCR effekt).

- Der er fundet en mulig forklaring på den "forkerte" tidsforskydning på ca. 20 år mellem globale tem-

peraturer og solplet-tal (temperaturer ændres først). Forskellen forklares ved en intern "solplet-effekt", der medfører forsinkelse af udbredelsen af termisk energi ved stærke magnetfelter i Solens indre.

- De siden 1980 kraftigt stigende globale temperaturer kan ikke forklares ved solaktiviteten, der i samme periode var aftagende.

Referencer

Brohan, P., J.J. Kennedy, I. Harris, S.F.B. Tett and P.D. Jones (2006): Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850. *J. Geophys. Res.*, 111, D12106, doi:10.1029/2005JD006548.

Carrington, R. C. (1860): Description of a singular appearance seen in the Sun on September 1, 1859. *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 20, 13-14.

Damon, P. E. and P. Laut (2004): Pattern of strange errors plagues solar activity and terrestrial climate data, *EOS* 85 (39), 370, 374.

Douglass, D. H. and B. D. Clader (2002): Climate sensitivity of the Earth to solar irradiance, *Geophys. Res. Lett.*, 29, 1786-1789, doi:10.1019/2002GL015345).

Friis-Christensen, E. and K. Lassen (1991): Length of the Solar Cycle: An Indicator of Solar Activity Closely Associated with Climate, *Science* 254, 698-700.

Frölich, C. (2009): Observational

evidence of a long-term trend in total solar irradiance, *Astronomy and Astrophysics* 501, L27.

Gleissberg, W. (1944): A table of secular variations of the solar cycle, *Terr. Magn. Atm. Electr.* 49, 243-244.

Lassen, K. and E. Friis-Christensen (2000): Reply to "Solar cycle lengths and Climate: A reference revisited" by P. Laut and J. Gundermann, *J. Geophys., Res.* 105, 27,493-27,495.

Laut, P. (2003): Solar activity and terrestrial climate: an analysis of some purported correlations, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 65, 801-812, doi:10.1016/S1364-6826-(03)00041-5.

Marsh, N. D. and H. Svensmark (2000): Low cloud properties influenced by cosmic rays, *Phys. Rev. Lett.* 85, no. 23, p. 5004-5007.

Reid, C. R. (1999): Solar variability and its implication for the human environment, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 61, 3-14.

Stauning, P. (2011): Solar activity-climate relations: A different approach, *J. Atm. Solar-Terr. Phys.* 73, p. 1999-2012. doi:10.1016/j.jastp.2011.06.011.

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.