

Hvor bliver solpletterne af?

Af Christoffer Karoff, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet

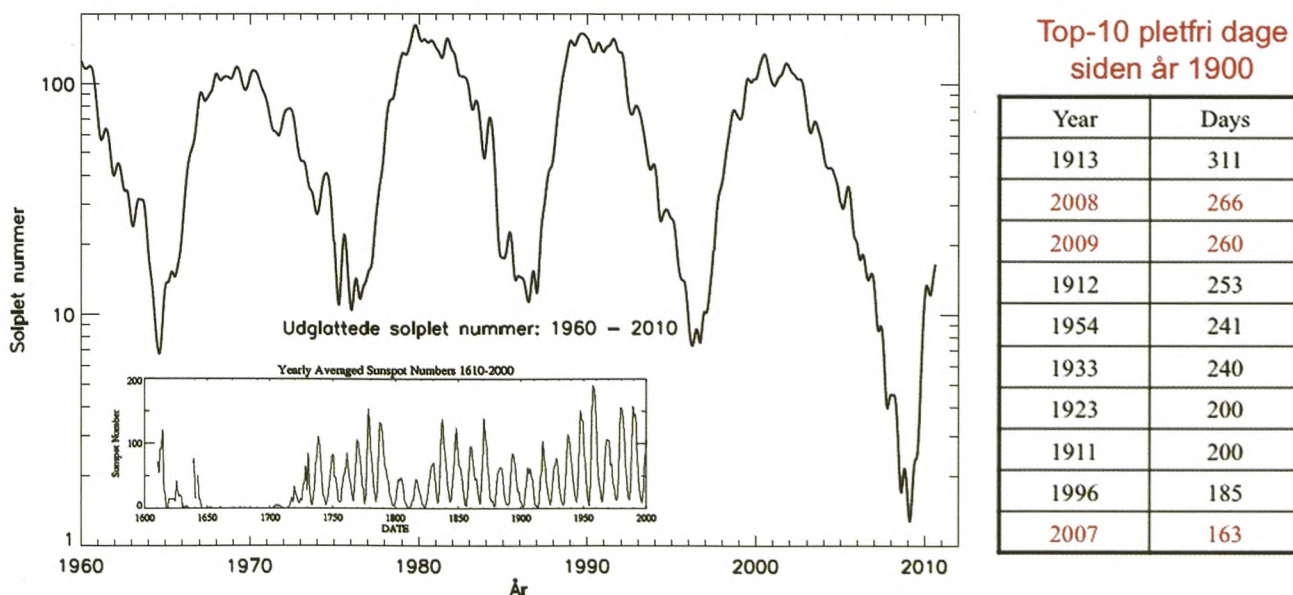
Siden 2007 har der, til stor undren for solfysikere verden over, stort set ingen solpletter været på Solens overflade. Nu er der dog begyndt at komme solpletter igen. En konsekvens er bl.a., at man natten til den 5. august kunne opleve nordlys i Danmark, men det er endnu for tidligt at påstå, at Solen opfører sig normalt. I stedet diskuterer solfysikere verden over, hvad det er, der har fået Solen til at opføre sig unormalt.

Siden Galileo i 1612 for første gang rettede sit teleskop mod Solen, har vi lavet daglige observationer af Solens overflade. Til at begynde med var der dagligt pletter på Solens overflade; nogle gange var der mange, nogle gange var der få, men efter et halvt hundrede år forsvandt pletterne stort set fra Solens overflade i en periode på 60 til 70 år. Denne periode har siden fået navnet Maunder-minimummet. En interessant observation er, at Maunder-minimummet falder sammen med en periode, hvor det var ualmindelig koldt på Jorden, specielt i Nordeuropa. Professor ved DTU, Henrik Svensmark, har de sidste 20 år arbejdet intenst med at forstå årsagen til denne sammenhæng. I denne artikel vil vi dog ikke se på, om pletterne på Solens overflade kan have nogen effekt på Jordens klima, men i stedet undersøge, hvad der kan få antallet af pletter på Solens overflade til at variere.

Den mest markante variation i antallet af pletter på Solens overflade er en 11-års cyklus. Selvom det kun til dels er internationalt kendt, så blev denne 11-års cyklus faktisk først opdaget i 1776 af direktør ved Rundetårn Christian Horrebow. Grunden til, at dette kun til dels er internationalt kendt er, at Horrebow valgte at offentliggøre sin opdagelse på dansk i Historisk Almanak og ikke, som det selv på den tid var kutyme

med sådanne opdagelser, i et internationalt tidsskrift.

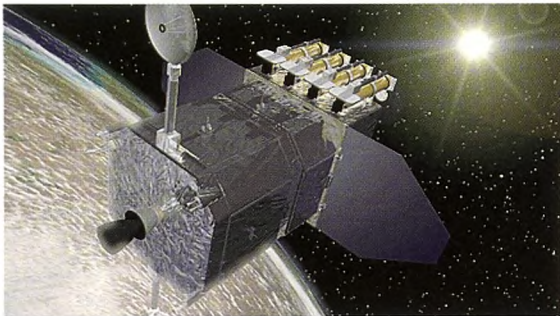
Siden Horrebow opdagede Solens 11-års cyklus har antallet af pletter på Solen overflade stort set opført sig som et urværk. Med 11-års mellemrum var der mange pletter på Solens overflade og med 11-års mellemrum var der få pletter på Solens overflade. Det vil altså sige lige indtil for et par år siden. Solen havde sidste solplet maksimum omkring år 2001 og skulle derfor omkring år 2007 befinde sig i solplet minimum, med en ny cyklus lige om hjørnet. Den nye cyklus lod dog vente på sig og antallet af pletter på Solens overflade fortsatte med at falde. I 2008 og 2009 havde vi henholdsvis 266 og 260 dage uden pletter på Solens overflade, hvilket er rekord for to sammenhængende år, hvis man ser på de sidste 100 år. Rigtig mange solfysikere kom uforvarende til at påtage sig rollen som spåkoner, når de blev spurgt om, hvordan Solens cyklus ville udvikle sig. I starten holdt mange fast i, at den nye cyklus var lige rundt om hjørnet, og at vi i løbet af nogle måneder ville begynde at se pletter piple frem på Solens overflade. I takt med, at der gik længere og længere tid uden pletter, begyndte flere og flere solfysikere dog at tale om muligheden for et nyt Maunder-minimum og at der måske ville gå 50 år, før vi igen ville se rigtig mange pletter på Solens overflade.



Figur 1. Den store graf viser en udglattet version af det internationale antal solpletter, der er afbildet på en logaritmisk skala for bedre at vise dybden af minimummet i 2009. Det internationale solpletnummer registreres hver måned af Royal Observatory of Belgium. Indsat graf: Solpletantal (vist med lineær skala) tilbage til 1600-tallet, hvor Maunder-minimummet tydeligt ses. Under meget dybe aktivitetsminima kan Solens aktivitet også måles vha. antallet af dage uden solpletter. Tabellen til højre viser en top-10 for år med flest pletfri dage. Det ses, at det minimum vi nu er på vej ud af indtager tre af pladserne på denne top-10.

Vi skal helt frem til august i år før der virkelig begyndte at komme pletter på Solens overflade. Nu er alle enige om, at den nye solcyklus er startet. Hvad solfysikerne dog ikke er enige om er, hvornår den gik i gang. Gik den faktisk i gang i slutningen af 2008, og er det vi oplevede i august 2010 faktisk noget nær det maksimale antal pletter vi vil opleve? Eller er cyklussen først rigtig gået i gang nu og vil antallet af pletter derfor fortsætte med at stige de næste par år?

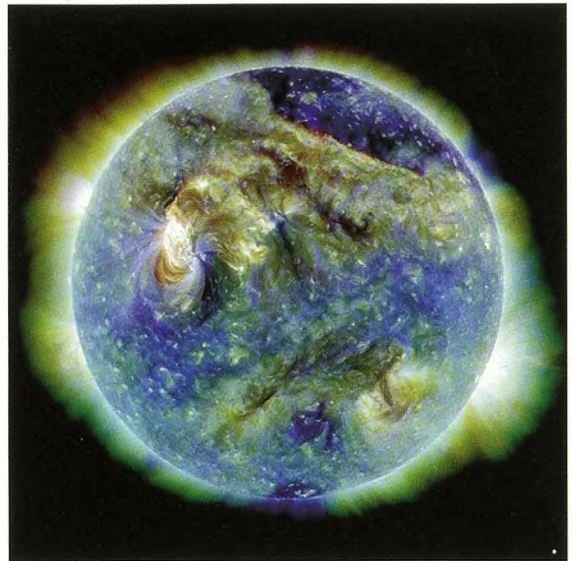
Vi har de sidste par år oplevet det dybeste minimum i Solens aktivitet, som vi har været vidner til i flere hundrede år (se figur 1). Selvom vi de sidste par måneder har observeret lidt aktivitet på Solens overflade, så er det stadig ikke mere aktivitet end, hvad vi ville forvente at se under et normalt minimum. Det spørgsmålet som optager alverdens solfysikere i disse måneder er, om Solens aktivitet vil blive ved med at stige over de kommende måneder således, at vi når op på et maksimum på niveau med andre maksima de sidste par hundrede år, eller om den aktivitet vi har oplevet de sidste par måneder, faktisk er det maximum vi når i denne cyklus.



Figur 2. NASA's nye satellit Solar Dynamics Observatory (SDO) blev opsendt 11. februar 2010 fra Cape Canaveral og vil over de næste år studere Solens aktivitet i stor detalje. Flere danskere har været dybt involveret i arbejdet med SDO, bl.a. Jesper Schou fra Stanford Universitet og Jørgen Christensen-Dalsgaard fra Aarhus Universitet. Det var observationer af Solens overflade fra SDO der gjorde, at det var muligt at forudsige muligheden for nordlys over Danmark natten til den 5. august.

En af måderne som vi forventer at finde svar på dette, er ved at benytte observationer fra NASA's nye satellit Solar Dynamics Observatory (SDO), se figur 2. SDO blev sendt op i februar i år og er netop nu i gang med at levere observationer af hidtil uset kvalitet af aktiviteten på Solens overflade og i dens indre. SDO var således grunden til, at det nordlys man natten til den 5. august kunne se over store dele af Danmark kunne forudsiges med stor nøjagtighed. SDO observerede de udbrud på Solens overflade, der var skyld i nordlyset flere dage, før nordlyset fandt sted. Da SDO først havde observeret udbruddet på Solens overflade, var de to STEREO-satellitter i stand til at følge de store mængder plasma, der var blevet skudt ud fra Solens overflade. STEREO-satellitterne er to satellitter, der kredser rundt om Solen sammen med Jorden. Den ene befinder sig bare et godt stykke foran Jorden, mens den anden befinder sig bagved. Dette gør, at STEREO-satellitterne, så at sige, ser Solen fra siden. På den

måde var SDO og STEREO i samarbejde i stand til at bestemme retning og hastighed på den plasma, der blev skudt ud fra Solen, og det var på den måde, at nordlyset kunne forudsiges.



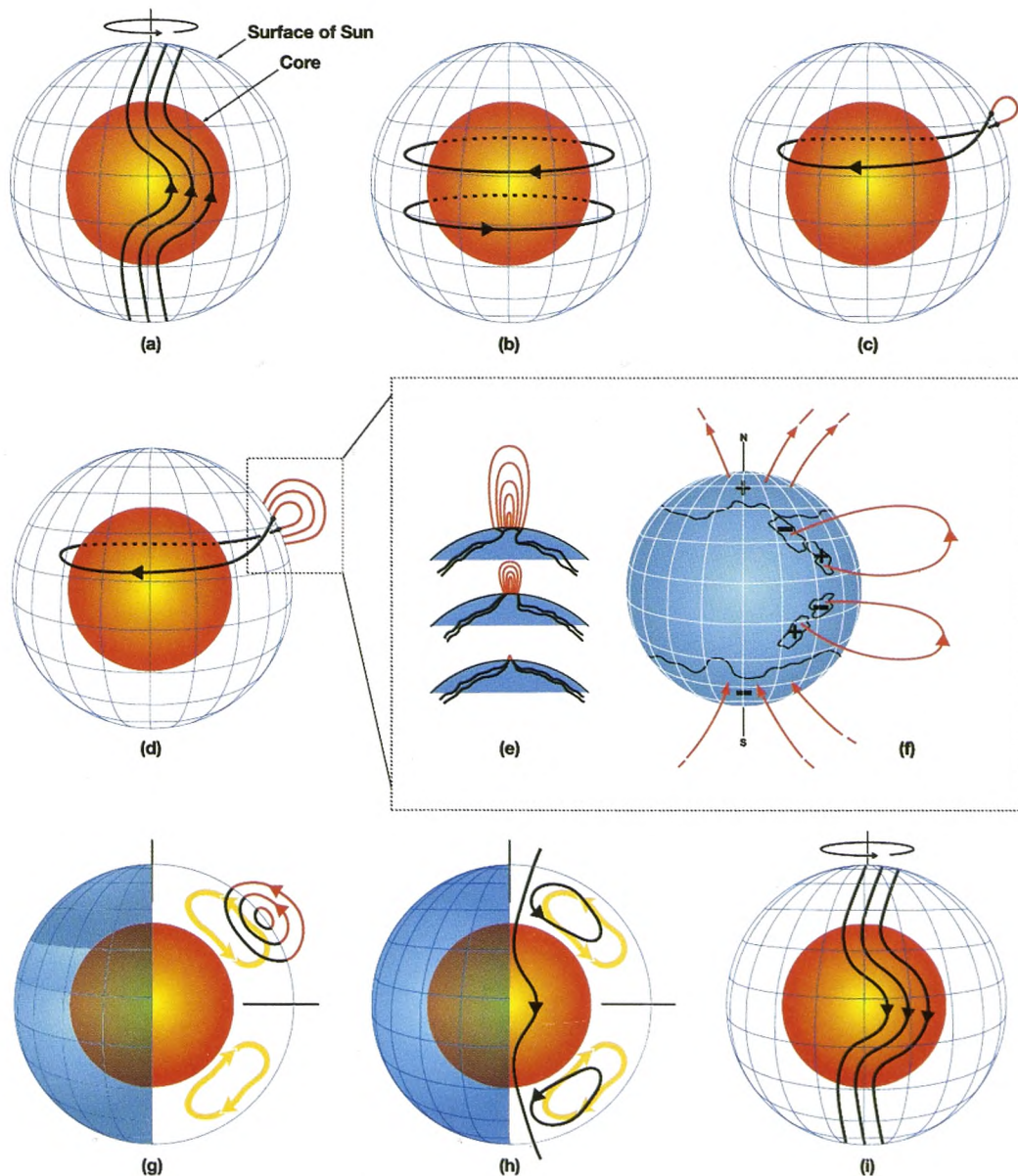
Figur 3. Først i august observerede SDO den største aktivitet på Solens overflade vi har set i flere år. Det blev bl.a. observeret enorme eksplosioner på overfladen, de såkaldte solfakler og store mængder plasma der blev slynget mod Jorden i såkaldte koronale masseudkastninger ('coronal mass ejections'). Da dette plasma ramte Jorden førte det til at man kunne observere nordlys over Danmark. Billedet er taget i det ekstreme ultraviolette område. De forskellige farver i billedet viser gas med forskellige temperaturer fra omkring en og op til millioner kelvin (NASA/SDO).



Figur 4. Aktivitet på Solens overflade. Magnetiske feltlinier bryder igennem Solens overflade og danner solpletter. I dette tilfælde danner magnetfelterne også et såkaldt korona loop. Det er loops som disse, der kan danne enorme eksplosioner på Solens overflade hvorefter store mængder af plasma slynges mod Jorden. På billedet er også vist et billede af Jorden i rigtig størrelsesforhold, for at vise hvor store fænomenerne på Solens overflade er. Billedet, der er taget i ekstrem ultraviolet, er taget af SDO den 30. marts 2010 (NASA/SDO).

En anden ting som SDO skal bruges til er, at den skal kigge ned under Solens overflade. Dette har vi gjort før både fra Jorden og med den nu 15 år gamle SOHO-satellit og på den måde har vi bl.a. meget præcist bestemt, hvad Solen består af, og hvor gammel den er.

Det som SDO specielt skal kigge på er dog, hvordan Solens rotation ændrer sig inden i Solen, og hvordan strømninger i Solens indre ændrer sig. Disse ændringer er meget vigtige for Solens dynamo, som er den der skaber Solens cyklus.



Figur 5. Det er Solens dynamo, der er årsag til Solens cyklus. Solfysikerne er stadig ikke helt enige om præcis, hvordan Solens dynamo fungerer. En af de mest brugte dynamomodeller er den såkaldte Babcock-Leighton dynamo, der er beskrevet på denne figur. Den indre røde kugle viser Solens strålingszone, mens det blå gitter viser Solens overflade. Imellem strålingszonen og overfladen findes Solens konvektionzone. Meget enkelt fortalt skal Solens dynamo ændre Solens globale magnetfelt fra at være et polært felt, der løber fra den ene pol til den anden til at være et torusformet felt der løber rundt langs ækvator og tilbage igen. I Babcock-Leighton dynamoen bliver de polære feltlinier spundet op omkring Solens ækvator, fordi Solen roterer hurtigere omkring ækvator end nær polerne således, at Solen har differentiell rotation (billede a og b). Dermed ændres Solens globale magnetfelt fra at være et polært til at være et torusformet felt. Når det torusformede felt er stærkt nok vil magnetiske loops begynde at drive mod overfladen, da trykket i dem er mindre. På vej mod overfladen vil disse loops blive twistede pga. Solens differentielle rotation, således at de vil begynde at vende Solen's magnetfelt tilbage i polær retning (billede c og d). Der hvor de magnetiske felter bryder igennem overfladen vil der dannes solpletter. Placeringen af disse pletter kan derfor give os information om tilstanden af magnetfeltet (billede e og f). Strømninger i Solens indre kaldet 'meridional circulations' (gule linjer) vil transportere magnetisk flux op mod polerne langs overfladen og herefter ned mod bunden af konvektionszonen (billede g og h). Herefter vil en ny cyklus være klar til at begynde (billede i). I Babcock-Leighton dynamoen er det derfor ikke bare antallet og konfigurationen af pletter på Solens overflade der er vigtigt for at kunne forudsige Solen's cyklus, men også strømningerne i Solens indre og den differentielle rotation. Figur fra [1].



Figur 6. Natten til den 5. august tog Jesper Grønne fra Silkeborg dette billede af nordlys. Nordlys dannes, når plasma fra Solens overflade rammer Jordens magnetfelt så det afbøjes. Når Jordens magnetfelt derefter skal finde tilbage til sin normale konfiguration dannes nordlyset. Nordlyset over Danmark natten den 5. august var præcist forudsagt på baggrund af observationer fra SDO-satellitten.

Der findes et hav af modeller for Solens dynamo. De fleste er dog variationer over Babcock-Leighton dynamoen, som er beskrevet i figur 5. To af de vigtigste komponenter i Babcock-Leighton dynamoen er Solens differentielle rotation og strømningerne i Solens indre, der løber i cykeltempo fra ækvator mod polerne lige under Solens overflade og tilbage igen dybt inde i Solens indre (de gule pile på figur 5). At Solen har differentiell rotation betyder, at den ikke roterer lige hurtigt over det hele. Vi siger, at den ikke roterer som et stift legeme. Således tager det Solen omkring 25 dage at rotere en gang rundt om sig selv langs ækvator, mens det tager over 30 dage, når man kommer tættere på polerne. Men Solens rotation ændrer sig ikke kun på overfladen, men også når man bevæger sig ind i Solen. Således sker der meget store ændringer i Solens rotation, når man nærmer sig det, man kalder Solens strålingszone. Den ses som den gule kugle på figuren.

Solfysikere verden over har de sidste par år meget intenst studeret ændringer både i Solens differentielle rotation og i strømningerne i Solens indre for at se om de ad den vej kunne finde en forklaring på den lave solaktivitet. Det er også lykket at finde ændringer i både den differentielle rotation og i strømningerne, der følger Solens cyklus, men spørgsmålet er bare, hvad der er skyld i hvad? For strømningerne i Solens indre påvirker rotationen, som påvirker magnetfeltet, som igen påvirker strømningerne osv. Således blev det for nyligt vist, hvordan de ændringer, man havde målt i strømningerne i Solens indre kunne stamme fra det faktum, at der stort set ikke havde været nogle pletter på Solens overflade.

Selvom det stadig er uklart, hvad der er skyld i hvad, så har det faktum, at de fleste af Solens egenskaber lige

pludselig ændrer sig markant anderledes og kraftigere end, hvad vi har været vant til de sidste 100 år, givet os en unik mulighed for at studere og prøve at forstå, hvilke sammenhænge der måtte være mellem disse forskellige egenskaber. For vi har netop endnu ikke forstået alle sammenhængene, hvilket meget tydeligt kan ses ved, at ingen af de utallige dynamo modeller var i stand til at forudsige at pletterne ville forsvinde fra Solens overflade i næsten 2 år.

Litteratur

- [1] M. Dikpati og P.A. Gilman (2007), Global solar dynamo models: simulations and predictions of cyclic photospheric fields and long-term non-reversing interior fields, *New J. Phys.*, **9**, 297.



Christoffer Karoff er Carlsberg-stipendiat ved Institut for Fysik og Astronomi ved Aarhus Universitet. Han arbejder med at forstå aktiviteten i Solen og andre stjerner. Specielt bruger han observationer af sollignende stjerner, fra NASAs Kepler-satellit, til at øge vores forståelse af Solen og Solens aktivitet. Han har en blog på www.videnskab.dk hvor han skriver om Solen og andre stjerner.