

Solen på slingrekurs

Solens magnetfelt varierer i styrke næsten som et urværk med en cyklus på 11 år.

Men lige nu er urværket ude af takt, idet magnetfeltet er stærkt svækket på et tidspunkt, hvor det burde være tiltagende i styrke.

Af Hans Kjeldsen,
Jørgen Christensen-Dalsgaard
og Torben Arentoft

■ Solen opfører sig mærkeligt for tiden. Solen har stort set ingen solpletter, selvom vi forventede, at vi lige nu skulle være på vej mod et nyt maksimum i antallet. De manglende solpletter er et af flere tegn på, at Solens magnetfelt er svækket. Andre tegn er, at trykket i solvinden lige nu er meget lavt, og at der på grund af manglende magnetiske udbrud forekommer meget lidt nordlys. Samtidig udsættes satellitterne i kredsløb om Jorden for mindre luftmodstand end normalt, fordi Solen ikke varmer Jordens ydre atmosfære op til den sædvanlige temperatur. Hvad er det, der sker med Solen? Skal vi ikke regne med at se mange solpletter igen foreløbig? Og betyder det svækkede magnetfelt, at vi er på vej mod et solpletminimum, som det, vi havde i 1645-1710, og som måske hænger sammen med en periode med koldt klima på Jorden?

Solvinden og 11-årsperioden
Solens magnetfelt varierer med en periode på ca. 11 år, en opdagelse som blev gjort i 1843



Foto: Nick King

Magnetfeltet på Solen opvarmer Solens ydre meget varme atmosfære (koronaen), som forårsager en konstant strøm af partikler, som forlader Solen med hastigheder på over 500 km/s. Koronaen kan observeres fra satellit, men den kan også iagttages under total solformørkelse, som den, der indtraf i Tyrkiet den 29. marts 2006.

af den tyske astronom Samuel Heinrich Schwabe. Når magnetfeltet er meget aktivt hvert 11. år optræder der mange solpletter. I perioderne imellem svækkes magnetfeltet stærkt, og solpletterne forsvinder næsten. Der er flere måder, hvorpå man

kan konstatere styrken af aktiviteten i Solens magnetfelt. Den mest simple metode er blot at tælle antallet af solpletter. Og her viser de seneste målinger, at Solens magnetfelt er meget svækket.

En anden måde er at måle

trykket af solvinden, dvs. den konstante strøm af elektrisk ladede partikler, der hele tiden flyder fra Solen ud gennem solsystemet. En konsekvens af magnetfeltets eksistens er, at der sker opvarmning af Solens ydre atmosfære (den såkaldte

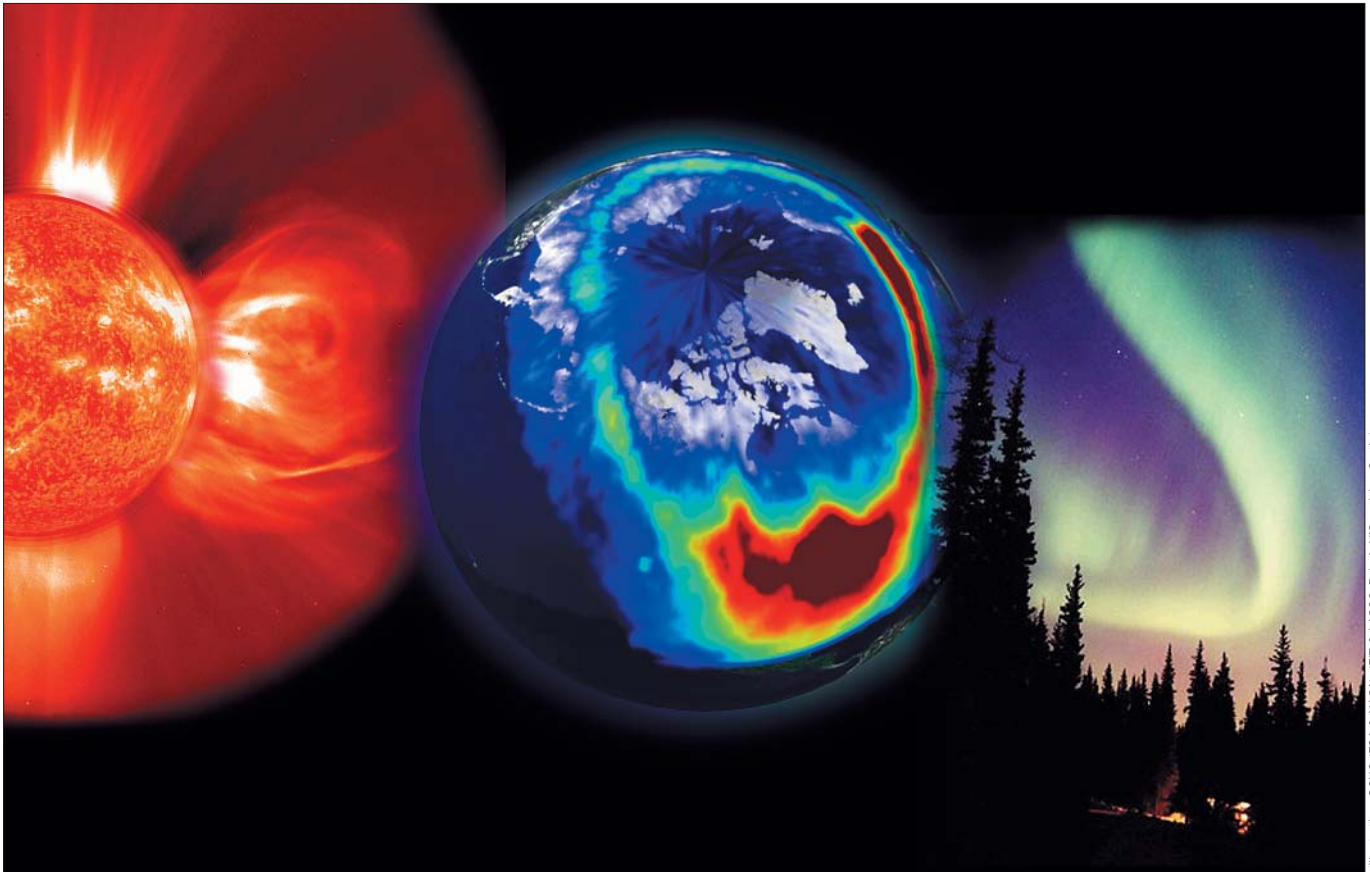


Illustration: SOHO (ESA & NASA); EIT & LASCO, Peter's VIS and Jan. Curitis).

Afladningen af Jordens strålingsbælter i jordatmosferen via påvirkningen fra Solens magnetfelt ses bl.a. som nordlys og en direkte observerbar konsekvens af svækkelsen af Solens magnetfelt er, at nordlysaktiviteten lige nu er stærkt nedsat og i perioder helt forsvundet.

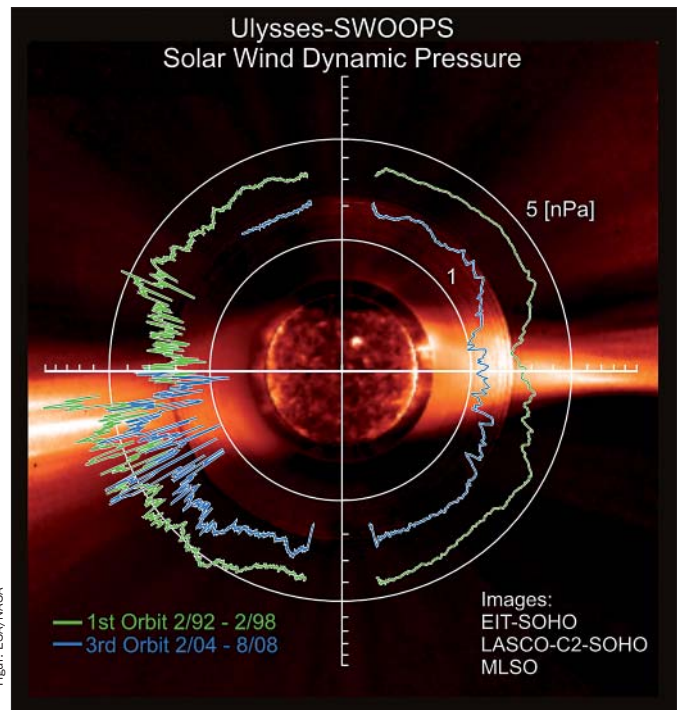
korona) og denne opvarmning får partiklerne til at strømme væk fra Solen med hastigheder på over 500 km/s. Ved at måle trykket af solvinden kan man observere, hvor mange partikler Solen accelererer og til hvilken hastighed. Netop offentliggjorte målinger af solvinden viser, at den er på det laveste niveau, der er blevet registreret, siden nøjagtige målinger blev mulige for næsten 50 år siden. Dette er blevet målt bl.a. af den europæisk-amerikanske Ulysses-sonde, der i de seneste 19 år er fløjet tre gange hen over Solens poler. Solvinden blæser en stor boble omkring hele solsystemet, der definerer grænsen til rummet mellem Mælkevejens stjerner – det interstellare rum.

Det svækkede magnetfelt på Solen har direkte betydning for den partikelstråling, som er fanget i Jordens magnetfelt. Jordens magnetfelt er i stand til at fastholde elektriske partikler, hvilket skaber et kraftigt

strålingsbælte omkring Jorden (det såkaldte Van Allen bælte). Når Solens aktivitet producerer udbrud af stråling og stof i Solens korona, vil det påvirke og afbøje Jordens magnetfelt og dele af strålingsbælterne skubbes ind i Jordens atmosfære, hvorved der sker en afladning af Jordens strålingsbælter. Afladningen i jordatmosfæren ses bl.a. som nordlys. En direkte observerbar konsekvens af svækkelsen af Solens magnetfelt og af solaktiviteten er, at nordlysaktiviteten lige nu er stærkt nedsat og i perioder helt forsvundet.

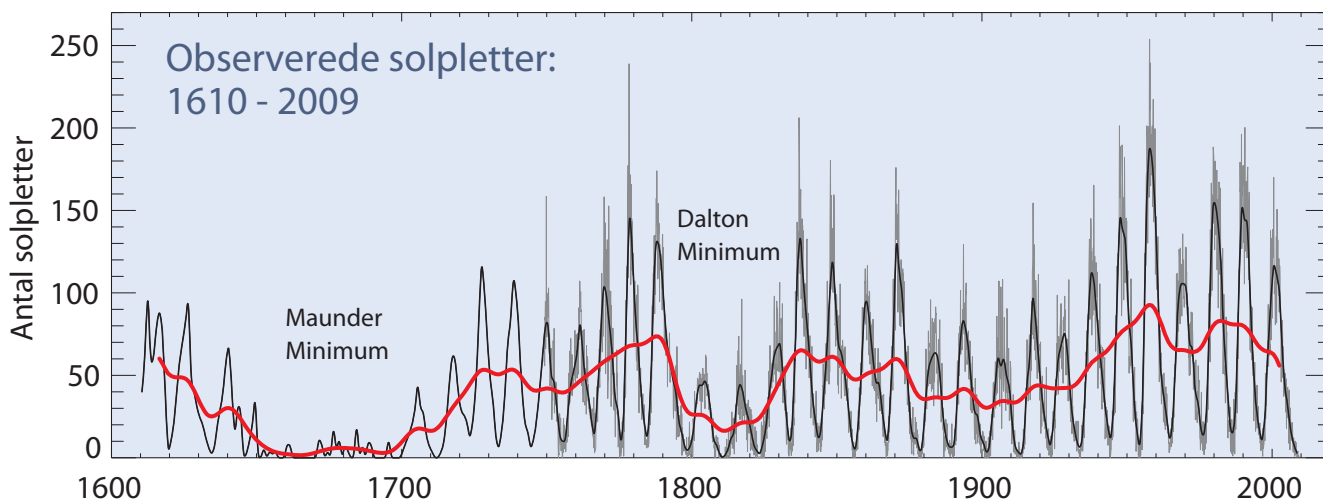
Solens cyklus forsinket med mindst 2 år

I skrivende stund (slutningen af maj 2009) er Solen stort set fri for solpletter. Ser vi på målingerne over solpletterne siden 1960, var der solpletminimum i november 1964, juni 1976, september 1986 og maj 1996, hvilket vil sige minimum med 10,5 års mellemrum. Det var derfor



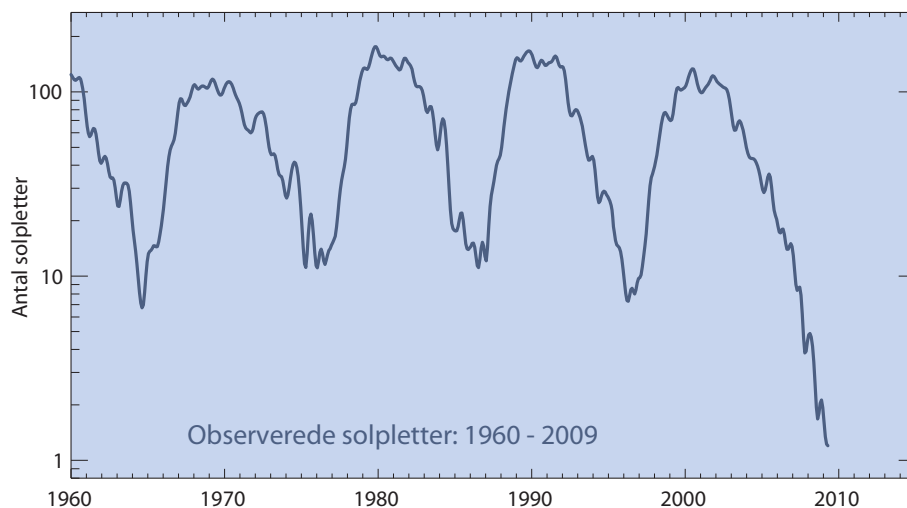
FIGUR: ESA/NASA

Målinger fra ESA's Ulysses rumsonde af solvindstrykket. Diagrammet viser trykket ved dette (2008) og nær forrige solpletminimum (1998). Solvindstrykket er 30-40 % lavere nu end det var for 10-11 år siden. Dette er et tydeligt eksempel på, at solens magnetfelt er stærkt svækket.



Solpletterne varierer med en periode på ca. 11 år. Diagrammet viser variationerne i antallet af solpletter igennem de sidste 400 år. Den røde kurve viser en udglattet kurve hvor 11-års cyklen er fjernet. Det ses, at solaktiviteten også på længere tidsskalaer varierer meget. Det er meget bemærkelsesværdigt, at solpletterne forsvandt i 1645, i det såkaldte

Maunder Minimum, og kom igen i 1700-tallet. Ud fra en simpel fremskrivning af solpletantallet burde vi være på vej mod et nyt solpletmaksimum, men solpletterne er tilsyneladende forsvundet. Er vi derfor på vej mod et nyt Maunder Minimum? Data i denne figur er fra National Geophysical data Center (NGDC) under NOAA.



Solpletantallet i perioden 1960 – 2009. Det ses at der i det nuværende minimum er langt færre solpletter end det var tilfældet ved de forrige minima. Data i denne figur er fra National Geophysical data Center (NGDC) under NOAA.

forventet, at Solen ville nå et nyt minimum omkring årsskiftet 2006/7.

Samme tendens ses, hvis vi ser på de tidspunkter, hvor Solen nåede sit maksimum, hvilket skete i november 1968, november 1979, august 1989 og april 2000. Hvis perioden for de seneste år var fastholdt, skulle vi forvente maksimum i oktober 2010. Siden 2002 er der blevet færre og færre solpletter – som det var forventet efter maksimum i april 2000. Måned for måned faldt solpletantallet, og der begyndte at være perioder helt uden solpletter. Men årsskiftet 2006/7 blev ikke vendepunktet. Gennem hele 2007 fortsatte aktiviteten med at

aftage og tendensen fortsatte i hele 2008. I 2007 var der 162 dage (44 %) uden solpletter, hvilket var steget til 266 dage i 2008 (73 %). 2009 ser ud til at kunne blive endnu lavere. I de første 120 dage af året har de 105 været uden solpletter (88 %), hvilket gør 2009 til en af de mindst aktive perioder i de sidste knap 200 år, da vi skal tilbage til begyndelsen af 1800-tallet for at finde et tilsvarende lavt niveau af solpletter.

Ud fra de seneste målinger af Solens aktivitet, kan vi med sikkerhed sige, at Solens aktivitetscyklus er forsinket med mindst 2 år i forhold til gennemsnittet for solpletvariationerne i de sidste godt 300 år. En så lang

solpletcyklus skal vi tilbage til årene 1800-1820 for at genfinde.

Alt tyder derfor på, at Solens aktivitetsniveau er stærkt svækket, og vi forventer tidligst det næste solpletmaksimum i 2013. Om forholdene er som i 1800, hvor solaktiviteten nåede et meget lavt niveau (i det vi kalder Dalton Minimum), eller om vi skal forvente, at aktiviteten helt forsvinder (som det skete i 1645 i det, vi kalder Maunder Minimum) ved vi endnu ikke.

Aktivitet trods alt

Det ser dog ikke ud til, at Solen er gået helt i stå. Målinger af forholdene under Solens overflade ved brug af såkaldt

helioseismologi viser, at de bevægelser i Solens indre, som er knyttet til Solens magnetiske aktivitet, stadig eksisterer. Helioseismologien, som bygger på detaljeret undersøgelse af lydbølgers bevægelse gennem Solen, kan meget nøjagtigt vise små temperaturvariationer i Solens indre, og seismologien kan benyttes til at bestemme rotationen af og storskala-bevægelserne i Solen. Ud fra disse målinger kan vi fastslå, at den kommende aktivitetscyklus er aktiv. Vi forventer derfor også, at der vil komme solpletter igen, med mindre aktiviteterne ikke når helt op til overfladen, så solaktiviteten kun udvikles i Solens indre, og ikke giver



2003/10/28 01:36

Foto: SoHO – ESA/NASA

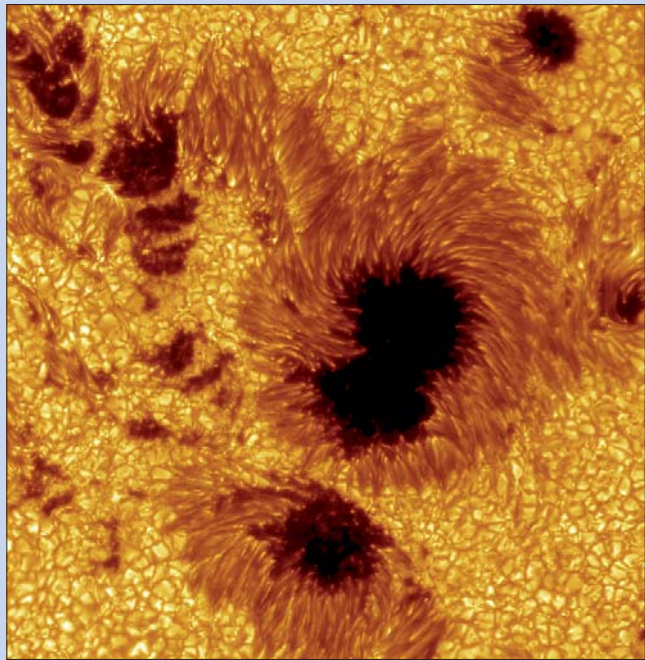


Foto: Det svenske solteleskop på La Palma.

Solens magnetfelt og solpletterne

Solen har et meget kraftigt magnetfelt. Magnetfeltet udviser såvel global som lokal struktur, og det påvirker forholdene på Solens overflade og i Solens atmosfære. Et af de fænomener, som hænger nært sammen med magnetfeltet, er solpletterne – mørke pletter på Solens overflade. En solplet opstår, når soloverfladen gennemrydes af et kraftigt magnetfelt (feltstyrken kan nå 0,4 tesla, det vil sige mere end 50.000 gange styrken af Jordens magnetfelt). Magnetfeltet har den effekt, at det mindsker gasbevægelserne (den såkaldte konvektion) i Solens ydre, hvorved transporten af energi fra Solens indre mindskes, og derfor falder temperaturen i selve solpletten til en temperatur på kun 4000 K, mens den øvrige soloverflade har en temperatur på 5750 K. Den lavere temperatur er den direkte årsag til plettens mørke udseende, fordi der simpelthen udsendes meget mindre lys fra pletten.

Over en solplet er forholdene i solatmosfæren i høj grad påvirket af

det kraftige magnetfelt i selve solpletten. Herved opstår bl.a. eksplosive energiuudladninger (såkaldte flares). På grund af Solens magnetfelt opvarmes Solens såkaldte korona og herved udsender Solen en strøm af partikler, solvinden, som forsvinder ud gennem Solsystemet. Disse energistrømme har afgørende betydning for forholdene i rummet mellem planeterne, specielt hvad angår stråling, magnetisme og påvirkningen af planeternes ydre atmosfærer.

De to billeder viser solpletter – det til højre er et nærbillede af en solplet og dens omgivelser. Antallet af solpletter varierer med en periode på 11 år. Vi er nu (maj 2009) ved minimum, og det forventes, at antallet af solpletter vil vokse i de kommende år – med mindre solpletaktiviteten er gået i stå, som det skete i 1645. Billedet til højre viser et udsnit af soloverfladen på ca. 50.000 km – 4 gange Jordens diameter.

anledning til soludbrud, solpletter og udsendelse af energirig partikelstråling og lys. Den kommende tid vil vise, om den nye solcyklus for alvor kommer i gang.

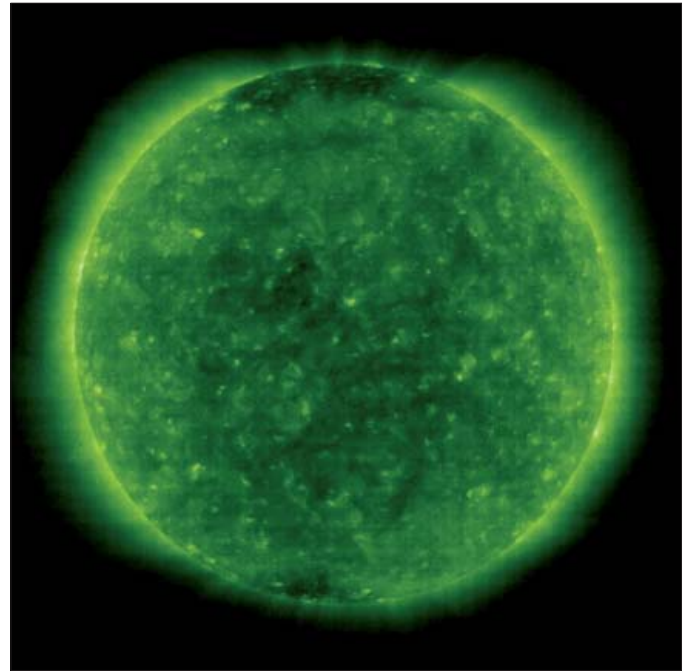
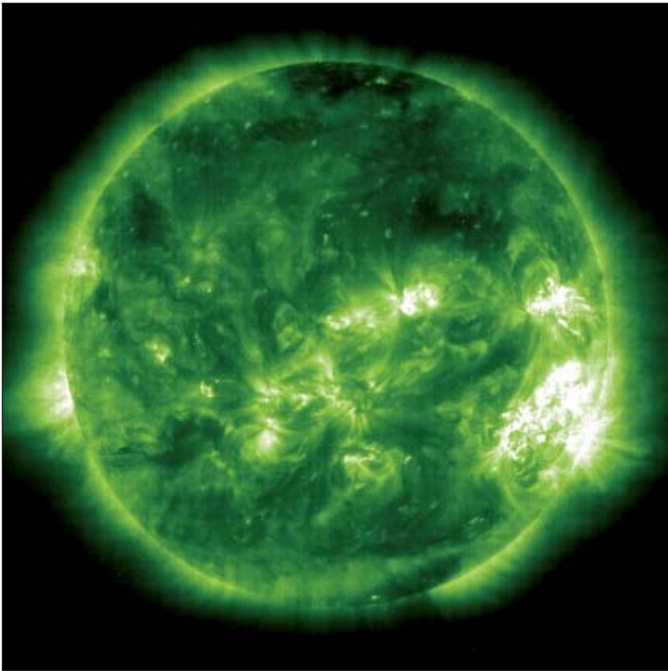
Mindre energi fra Solen

Det lave magnetiske aktivitetsniveau påvirker også Solens totale energiuudsendelse. Nøjagtige målinger af Solens ener-

giudsendelse kræver udstyr, som ikke eksisterede før rumalderen. Derfor kan vi ikke sammenligne disse målinger med tidligere tiders energiuudsendelse. Satellitmålinger af Solens energiuudsendelse viser, at niveauerne for Solens energiuudsendelse ikke siden de første nøjagtige satellitmålinger (i 1976) har været så lavt, som det er lige nu (maj 2009).

Solens effekt er faldet med 1 promille siden solpletmaksimum i år 2000, og niveauet er ca. 0,2 promille lavere end ved sidste solpletminimum i 1996. Det lyder ikke af meget, men tallene dækker over store variationer i specielt den ultraviolette (UV) del af Solens spektrum. Ved solpletmaksimum udsender Solen meget mere UV-stråling end ved solplet-

minimum, især hvis vi ser på den mest energirige del af UV-strålingen. Her ser man i løbet af 11-års solpletcyklen variationer på 50 % i det udsendte energiniveau. Den energirige del af UV-strålingen er lige nu (maj 2009) 6 % lavere end ved sidste minimum i 1996. Solens ændrede strålingsniveau påvirker Jordens atmosfære, og her er det specielt Jordens ydre



Solens korona som den ser ud ved en bølgelængde på 195 nm (Ultraviolet lys) observeret med SoHO satellitten (ESA/NASA). Billederne viser magnetfeltets effekt på den varme korona. Billedet til venstre viser koronaen den 1. november 2003 (UTC: 22:00), da Solen var nær maksimum af sin aktivitet, mens billedet til venstre er fra 17. september 2008 (UCT: 23:12), hvor Solen er ved minimum.



"Svenskerne går over Storebælt" malet af J.P. Lemke, 1658.

Under "den lille istid" var de indre danske farvande dækket af is med en så stor tykkelse, at det tillod den svenske konge Carl X. Gustav den 6.-7. februar 1658 at passere Langelandsbælt med hele sin hær.

Resultatet af denne dristige operation var, at Danmark tabte krigen til svenskerne og vi måtte afstå Skåne, Halland, Blekinge, Bornholm og Trondhjem samt Bohus Len ved fredsslutningen den 26. februar 1658 – delvist som en konsekvens af de manglende solpletter!

atmosfære, der som følge af det lavere UV-strålingsniveau, er afkølet. Det betyder bl.a., at atmosfæren fylder mindre. Satellitter og rumskibe i kredsløb om Jorden oplever derfor en mindre luftmodstand, og det kræver mindre energi at holde dem i bane.

Konsekvenser for klimaet?

En interessant konsekvens af den svækkede solvind er, at heliosfæren, som virker som et magnetisk "beskyttelsesskjold" mod den interstellare og energirige kosmiske stråling, også er svækket. Derfor kan vi forvente mange flere energirige kosmiske stråler nu, hvor solvinden er aftagende. Dette kan have konsekvens for de klimatiske forhold på Jorden, da visse undersøgelser tyder på, at der er en sammenhæng mellem skydannelse og mængden af energirige kosmiske stråler. Om det vil ændre afgørende på Jordens klima er dog omdiskuteret.

Og det er nok meget optimistisk at forvente, at den aftagende solaktivitet kan modvirke den globale opvarmning, som tilskrives udlednin-

gen af drivhusgasser. Meget afhænger naturligvis af, hvor svagt magnetfeltet egentligt bliver. Hvis vi når ned på niveauer svarende til under Maunder Minimum for solpletterne, kan det vise sig at få afgørende konsekvenser for Jorden og dens klima. Der er nemlig meget som tyder på, at der er en sammenhæng mellem Maunder Minimum og det, vi klimatisk kalder "den lille istid". Det var en periode, hvor klimaet på Jorden var væsentligt koldere end nu, og hvor gletscherne over alt på Jorden brede sig. De kommende måneder og år vil vise, hvor svagt magnetfeltet egentligt er blevet, og lige nu venter vi på, hvornår og om den nye solpletcyklus kommer i gang.

Et af de spændende aspekter ved, at Solen lige nu ser ud til at ændre sit magnetfelt radikalt, er, at vi ved studiet af ændringerne får en chance for at teste vore teorier og modeller og evt. se bort fra de modeller, som ikke kan forklare de magnetiske variationer, vi observerer. Det er derfor en meget spændende tid for solfysikken. ■

Om forfatterne



Hans Kjeldsen er lektor
Tlf.: 8942 3779
E-mail: hans@phys.au.dk



Jørgen Christensen-Dalsgaard er professor
Tlf.: 8942 3614
E-mail: jcd@phys.au.dk



Torben Arentoft er forskningslektor
Tlf.: 8942 3714
E-mail: toar@phys.au.dk

Alle ved Institut for Fysik og
Astronomi, Aarhus Universitet

Videre læsning:

<http://sohowww.nascom.nasa.gov>