

# Solaktivitet og jordas klima

Man kan med noenlunde sikkerhet si at endringer i solaktiviteten kan påvirke jordas klima. Den globale oppvarmingen de siste 50 år kan likevel ikke tilskrives solaktivitet siden det ikke har vært en vesentlig økning i solflekkaktiviteten.

**Rasmus E. Benestad,**  
*RegClim*

I sola forvandles hydrogen til tyngre grunnstoffer og enorme mengder energi frigjøres. Før denne energien når jorda, må den transporteres fra solas kjerne, hvor den ble frigjort, til solas overflate (fotosfæren), og ut i verdensrommet. En vesentlig del av denne energien består av såkalt elektromagnetisk stråling, som blant annet omfatter vanlig sollyst. Fordi sola til dels er ugjennomsiktig, må energitransporten fra solas kjerne foregå ved hjelp av strømmer (konveksjon) i solmaterien. Solmaterien består av et stoff som kalles *plasma*. Dette er en slags gass med frie elektriske ladninger, og har en rekke spesielle egenskaper. Bevegelser i plasmaen kan skape magnetiske felter, som kan ha en tilbakevirkende effekt på solmaterien. Sterke magnetiske felter kan for eksempel bremse strømninger som står for transporten av energi fra solas kjerne til fotosfæren. En slik oppbremsing skjer ofte over et begrenset område, som kan ses fra jorda som en mørk flekk, også kjent som *solflekk*. Solflekkene opptrer med en velkjent syklus på omkring 11 år, og er én synlig effekt av diverse prosesser i sola (solaktiviteten). En annen effekt er endringer i solas magnetfelter.

## Solaktivitetens betydning for jorda

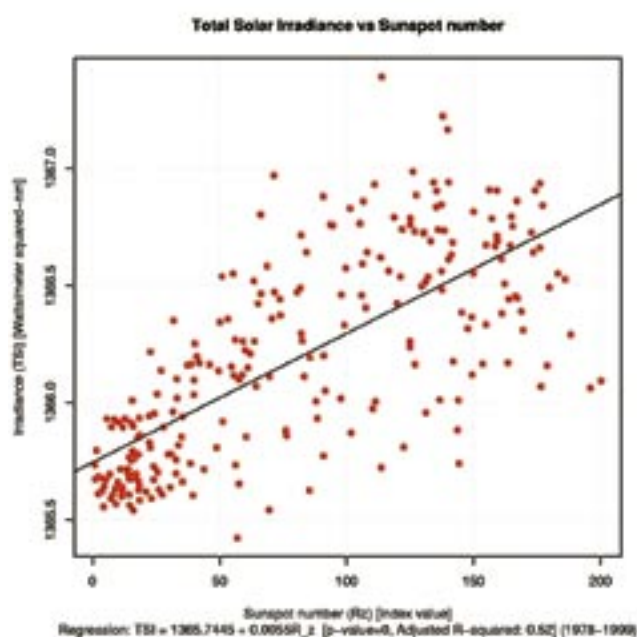
Det hersker liten tvil om at solaktiviteten påvirker jorda. Man finner igjen lignende 11-årssyklus høyt oppe i atmosfæren, og det er velkjent at Nordlyset er sterkest når solaktiviteten er på topp. Etter at satellittmålingene av sollyset startet, er

det liten tvil om at utstrålingen av energi fra sola varierer med nivået i solaktiviteten, men utstrålingen varierer bare med omlag 0,1 prosent fra lav til høy solaktivitet (figur 1). Det er derimot stor usikkerhet om hvor mye solas utstråling varierer over lengre tid.

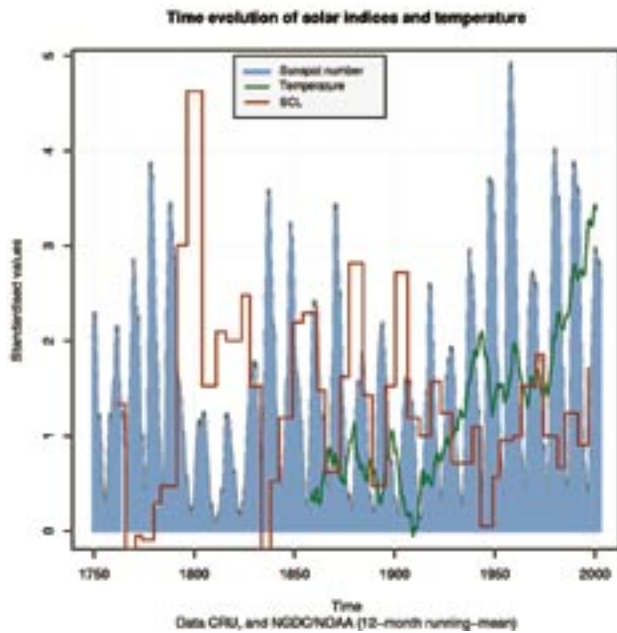
Endringer i denne størrelsesorden er knapt merkbare ved jordas overflate, dersom de ikke kan forsterkes på et eller annet vis. Man kan for eksempel forestille seg at en liten endring i solenergien kan medføre en liten endring i snødekket eller havisen. Is og snø reflekterer en stor del av solenergien tilbake til verdensrommet. Dersom litt av isen smelter ved en liten oppvarming,

vil litt mindre energi reflekteres, og litt mer fanges opp i klimasystemet, som igjen kan føre til en større oppvarming. Dette har en tilbakevirkende effekt, men sesongmessige endringer kan begrense denne forsterkningen i tillegg til andre sterke naturlige variasjoner. En annen mekanisme kan være at endringer i solas utstråling påvirker skydekket, som dermed forsterker energimengden som jorda mottar (Kristjánsson m.fl., 2002).

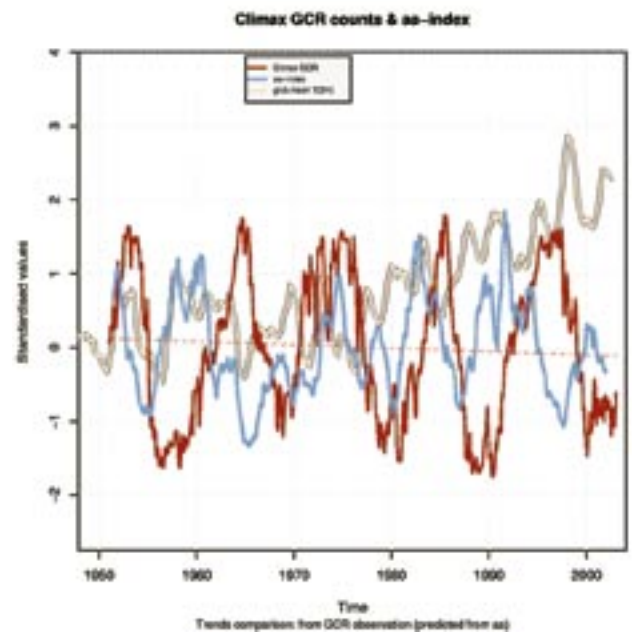
Det finnes også to andre hovedhypoteser på hvordan solaktiviteten kan påvirke jordas klima: (i) via ultrafiolett stråling og dens effekt på kjemiske forhold høyt oppe i atmosfæren og (ii) via solas magnetiske felt og dens påvirk-



**Figur 1.** Det observerte forholdet mellom solflekkantallet og solas utstråling (Total Solar Irradiance, TSI). Det er en tydelig sammenheng mellom solflekkantall og solas utstråling. Den rette linjen viser denne sammenhengen (basert på lineær regresjonsanalyse).



**Figur 2.** Tidsutviklingen for solflekkantallet (lyseblå kurve), solsykluslengden (Solar Cycle Length, rød) og jordas middeltemperatur (grønn). Det var en økning i registrert maksimum antall solflekker frem til 1957, men siden 1960 er det ingen klar trend i antallet solflekker. Etter et par lange solsykluser mot slutten av 1800-tallet, har solsyklusens lengde vært relativt stabil.



**Figur 3.** Det har ikke vært noen tydelig langtidstrend i målingene av galaktisk kosmisk stråling (GCR, rød kurve), ei heller i solmagnetismen angitt ved den såkalte aa-indeksen (blå) siden 1952. Derimot kan man finne klarere trender i kortere perioder, som f. eks 1965-1998 (fra maks GCR til maks GCR). Den globale middeltemperaturen er også vist i gult.

ning på kosmisk galaktisk stråling.

#### Ultrafiolett stråling og jordas klima

Til tross for at variasjonen i solas utstråling av energi er små, viser det seg at det er betydelige variasjoner i solas ultrafiolette stråling og annen kortbølget elektromagnetisk stråling. Variasjonene i den ultrafiolette strålingen kan medføre endringer i stratosfæren (atmosfærelaget over ca. 11 kilometers høyde) ved å påvirke mengden ozon, og det har blitt spekulert om slike endringer kan påvirke klimaet ved bakken (Shindell, 1999). Slike endringer i stratosfæren kan påvirke vindene og forplantningsevnen til såkalte planetære bølger (lav- og høytrykksområder), og dermed hvordan disse bølgene forplanter seg. De planetære bølgene kan omfordele varmeenergien på en slik måte at jordas middeltemperatur blir påvirket. Det er vanskelig å verifisere denne hypotesen, selv om den virker sannsynlig. Stratosfærisk ozon blir også påvirket av menneskeskapt gasser som klorfluorkarboner (KFK), og det er vanskelig å skille mellom menneskeskapt "ozonhull" og solas bidrag.

#### Kosmisk stråling og jordas klima

Når det er høy solaktivitet, vil den

såkalte solvinden, som er en strøm av partikler fra sola, i større grad dra med seg solas magnetfelt ut i solsystemet. Magnetfeltene skjærer jorda mot et bombardement av kosmisk galaktisk stråling. Den kosmiske strålingen kan i følge enkelte forskere påvirke dannelsen og utbredelsen av lave skyer, og dermed påvirke mengden av solenergi som reflekteres tilbake til verdensrommet. I følge denne hypotesen vil sterkere magnetfelt medføre mindre kosmisk stråling, færre lave skyer, mindre refleksjon, og dermed en oppvarming (Svensmark, 1998).

#### Den globale middeltemperaturen

I følge en rekke målinger og beregninger (IPCC 2001), har jordas middeltemperatur økt siden den industrielle revolusjonen (figur 2). Det skjedde en relativt rask oppvarming før 1940, fulgt av periode med svak nedkjøling. Etter 1970 har temperaturen økt igjen. En vesentlig del av oppvarmingen i den siste halvdel av 1900-tallet kan forklares som et resultat av menneskeskapt utslipp av drivhusgasser (IPCC, 2001). Men det er lite sannsynlig at oppvarmingen før 1940 hovedsakelig var forårsaket av økte konsentrasjoner av drivhusgassene, siden økningen var relativt svak på den

tiden. En annen forklaring kan være at oppvarmingen hadde en sammenheng med en langtidsendring i solaktiviteten. Det finnes imidlertid flere faktorer som kan påvirke klimaet, slik som landskapsendringer (for eksempel jordbruk og urbanisering) og aerosoler (partikler) fra vulkaner i tillegg til endringer i jordbanen og jordaksen (Milankovitch-syklus). Endringer i jordas bane og jordas akse skjer så langsomt (tidsskala på 22.000-100.000 år) at det er lite sannsynlig for at de endringene vi ser i klimaet er et resultat av disse (se artikkel av Mangerud). Vi vet også at vårt klima er svært komplisert, og at forskjellige faktorer kan "spille på de samme strengene"; det vil si at de forsterkes gjennom de samme forsterkningsmekanismene (for eksempel havis og skyer). En faktor kan også tenkes å "maskere" effekten fra en annen faktor, for eksempel ved at forsterkende mekanismene ikke gir vesentlig større utslag selv om flere faktorer er aktive samtidig. Derfor er det vanskelig å si hvor mye hver enkelt faktor bidrar til klimavariasjonene.

#### Klimaet de siste 50 årene

Det har i det siste vært debattert hvor mye av den globale oppvarmingen vi

nå ser som kan forklares av økte konsentrasjoner av drivhusgasser, og hvor mye som kan forklares som en følge av endringer i solaktiviteten. Svensmark (1998) påstod at endringer i solaktiviteten kan forklare det meste av den registrerte globale oppvarmingen, og Lockwood m.fl. (1999) antydte senere at solmagnetismen har økt med rundt 40 prosent siden 1964. Svensmark viste til en tilsynelatende god korrelasjon mellom lave skyer og kosmisk stråling i perioden 1984-1994. Disse resultatene har vært kontroversielle, og har ført til en het debatt. Siden disse publikasjonene kom er det publisert nye artikler som setter debatten i et nytt lys. Richardson m.fl. (2002) finner ingen vesentlig økning i solmagnetisme siden 1960, og hevder at den økningen som Lockwood m.fl. fant var spesiell for intervallet 1964-1996. Det har heller ikke vært noen signifikant trend i antall solflekker ved maksimum solaktivitet eller kosmisk stråling siden 1958. Figur 3 viser disse målingene. Et annet problem med hypotesen til Svensmark er at man vil forvente størst oppvarming om dagen dersom oppvarmingen skjer som følge av mindre refleksjon av solenergien. Observasjonene over land, derimot, gir størst oppvarming om natten. Det er også blitt spekulert om mekanismen foreslått av Svensmark er viktigst over havene, men det forklarer ikke hvorfor temperaturen over land har steget fortere enn over hav (IPCC, 2001). Videre har flere forskere satt spørsmålsteget ved mekanismen til

*“Det ser ikke ut til at det har vært noen vesentlig endring i solaktiviteten siden 1950.”*

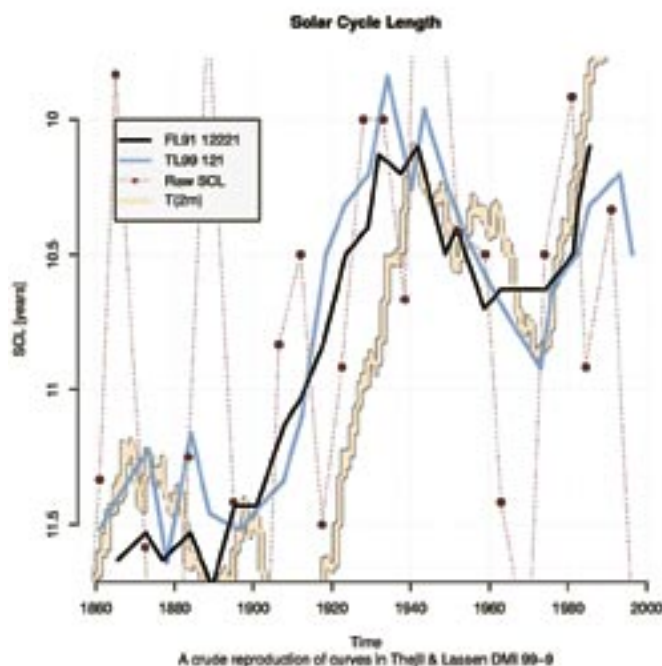


Rasmus Benestad har skrevet bok om sol og klima (anmeldt på side 15)

Svensmark, fordi korrelasjonen mellom lave skyer og kosmisk stråling svekkes når seriene forlenges med flere målinger (Kristjánsson m.fl. 2002, *Cicerone* 4/2002; Wagner m.fl. 2001), og enkelte forskere har spekulert om den tilsynelatende høye korrelasjonen som Svensmark fant var en tilfeldighet forbundet med El Niño-fenomenet (Farrar, 2000).

Forholdet mellom solaktiviteten og jordas klima fikk stor oppmerksomhet etter at Friis-Christensen og Lassen (1991) presenterte en kurve som først ga inntrykk av en nær korrelasjon mellom solsykluslengde og middeltemperaturen i den nordlige halvkule (reprodusert i figur 4, tykk sort kurve). I denne kurven

var de siste verdiene ikke glattet på samme måte som resten av kurven, og kurven var på den måten misvisende. Det har vært rettet kraftig kritikk mot disse resultatene (Laut og Gundermann, 2000), og det er god grunn til å spørre om en slik glattning av kurvene er forsvarlig når den ikke er fysisk begrunnet. Det er også vanskelig å finne eksakte verdier for solsykluslengden, og det er derfor en vesentlig usikkerhet knyttet til disse verdiene. Denne usikkerheten er synlig i figur 4 der det er store forskjeller mellom uavhengige estimer av solsykluslengden (beregnet ut i fra glattede kurver av solflekknumrene, basert på 27-måneders glidende gjennomsnitt ut i fra prøving og feiling). Thejll og Lassen (1999) har oppdatert disse kurvene, og disse er reprodusert som blå kurve i figur 4. Her er de siste verdiene også blitt glattet, men på en litt annen måte, og det antas maksimum solaktivitet i tidlig 2000 (solflekkmaksimum var i 2002) og i 2011. Den oppdaterte kurven antyder en svakere sammenheng mellom solaktiviteten og jordas temperatur. Etter 1980, gir Thejll og Lassens glattede verdier vesentlig kortere solsyklusinter-



**Figur 4.** En reproduksjon av kurver som viser glattede kurver for solsykluslengde (SCL) fra Friis-Christensen og Lassen (1991) (sort) og fra Thejll og Lassen (1999) (blått), sammen med uavhengige uglattede estimer av SCL (rødprikket) og middeltemperaturen for den nordlige halvkule (gul). Thejll og Lassens kurve spriker med temperaturene mot slutten, men denne kurven antar feilaktig maksimum solflekker i 2000, så virkeligheten gir enda større sprik. De glattede kurvene stemmer dårlig overens med uavhengige estimer for solsykluslengden.

valler enn hva uavhengige beregninger angir (data for analysen som denne artikkelen baserer seg på kan hentes ned fra "skriptet" på nettadressen oppgitt nedenfor). Figuren fra Friis-Christensen og Lassen (1991) blir fremdeles ofte henvist til, noe som er uheldig, siden vi nå vet at denne figuren gir et feilaktig inntrykk om et bedre samsvar mellom solsykluslengde og temperaturer enn hva virkeligheten tilsier.

#### Konklusjon

Man kan med noenlunde sikkerhet si at endringer i solaktiviteten kan påvirke jordas klima. Det finnes flere hypoteser om hvordan solaktiviteten kan påvirke klimaet, og disse ekskluderer ikke hverandre. De hypotesene som virker mest sannsynlige er knyttet til stratosfærisk ozon, men det kan også se ut til at skydekket varierer i takt med solas utstråling. Selv om klimaet skulle være påvirket av solaktiviteten, er det ingen bevis for at de klimaendringene som vi nå ser, er et resultat av endringer i sola, fordi det ikke ser ut til at det har vært noen vesentlig endring i solaktiviteten siden 1950.

#### Referanser

- Farrar (2000), *Climatic Change*, **47**, 7-15.
- Friis-Christensen og Lassen (1991), *Science*, **254**, 698-700.
- IPCC (2001), *The Scientific Basis*, Cambridge Univ. Press, ISBN 0521 01495 6
- Kristjánsson m.fl. (2002), *Geophys. Res. Lett.*, **29**, 2107.
- Laut og Gundermann (2000), *J. Geophys. Res.*, **105**, 27,489-27,294.
- Richardson (2002), *J. Geophys. Res.*, **107**, 1304
- Shindell (1999), *Science*, **284**, 305-308.
- Svensmark (1998), *Phys. Review Lett.*, **81**, 5027-5030.
- Thejl og Lassen (1999), DMI report 99-9.
- Wagner m.fl. (2001), *J. Geophys. Res.*, **106**, 3381-3387.

#### Datakilder og analyseskript:

<http://www.cicero.uio.no/cicerone/03/2/cicerone0203.R>

#### Videre lesning på norsk:

- *Cicerone* 6/1999, s. 27-31; 1/2001, s. 23-24; 3/2002 s. 16-18.
- *Naturen* 5/2001 s. 245-247.

#### Rasmus Benestad

er forsker på prosjektet RegClim. Han er knyttet til Meteorologisk Instiutt og arbeider bl.a. med statistisk nedskalering av klimascenarier. Benestad har doktorgrad i fysikk fra Oxford Universitet, England ([rasmus.benestad@met.no](mailto:rasmus.benestad@met.no))

# Den lille istid skyldes solaktivitet og vulkanutbrudd

Ved hjelp av en klimamodell har forskere funnet ut at den lille istid trolig skyldes en kombinasjon av svakere solstråling og mange utbrudd fra vulkaner.

#### Sigbjørn Grønås, RegClim

Det meste av *den lille istid* (DLI) fant sted før den industrielle revolusjon da de menneskeskapte utslippene av klimagasser skjøt fart. Derfor er en sikker på at denne klimaendringen ikke var menneskeskapt, men at den derimot gir et glimt av hva slags klimaendringer naturen selv kan stå for.

#### Klimasvingninger gjennom tidene

Siden utgangen av istiden for omlag 10 000 år siden har jordas klima gjennomgått global oppvarming og avkjøling flere ganger. Svingningene har hatt mye mindre utslag enn de temperatursvingningene som skjedde ved utgangen av siste istid (yngre dryas), da store iskapper lå igjen over polare strøk. For omkring 6000 år siden, i den perioden som kalles *maksimum holosen*, var den globale gjennomsnittstemperaturen omlag 1,5 grader varmere enn i dag.

Nedbørmønstrene var forskjellige, for eksempel var det mer nedbør over Sahara. Et fuktigere klima i Mesopotania og i Indusdalen gjorde forholdene for jordbruksdrift mer gunstige, og menneskets første store kulturelle framvekst fant sted. Senere ble det kaldere enn i dag, og for omlag 2000 år siden ble det igjen varmere. Gjennom siste tusen år var det en relativt varm periode fram til rundt 1300, men en er ikke sikker på om denne trenden fant sted over

hele kloden. I Øst-Asia for eksempel, var det kaldere. I Europa flyttet jordbruket lengre nord og høyere opp i fjellene. En mener at bønder i England dyrket druer 500 km lengre nord enn det de gjør i dag. Norrøn virksomhet på Grønland var på det mest omfattende. Folkemengden økte og kulturen blomstret over det meste av Europa. Dette var perioden da en mengde katedraler ble bygd.

#### Den lille istid

Ved omkring år 1400 var klimaet igjen blitt litt kaldere, kanskje omtrent som det har vært gjennom de siste hundre årene. Etter år 1400 ble det kaldere, og vi fikk DLI. Det er uenighet blant forskere om varigheten på DLI. De fleste mener at en passende start er rundt 1450 AD eller noe senere. Uenigheten skyldes at fenomenet ikke var en enkelt lang kald periode. Det kan se ut som om trenden mot kaldere klima startet til forskjellige tider i forskjellige deler av verden, og at den ofte var avbrutt av relativt varme perioder. Alle er likevel enige om at den varte over flere hundre år og at den løsnat taket mellom 1850 og 1900.

På ulikt vis er DLI bedre dokumentert enn tidligere klimavariasjoner. Før 1600 finner en mest informasjon i skrevne dokumenter, slik som annaler. For eksempel har prisen på korn vært brukt som klimaindikator. Senere begynte en å måle temperatur, nedbør og vind. Fra Oxford har man brukbare målinger av temperatur fra 1659 (figur 1).