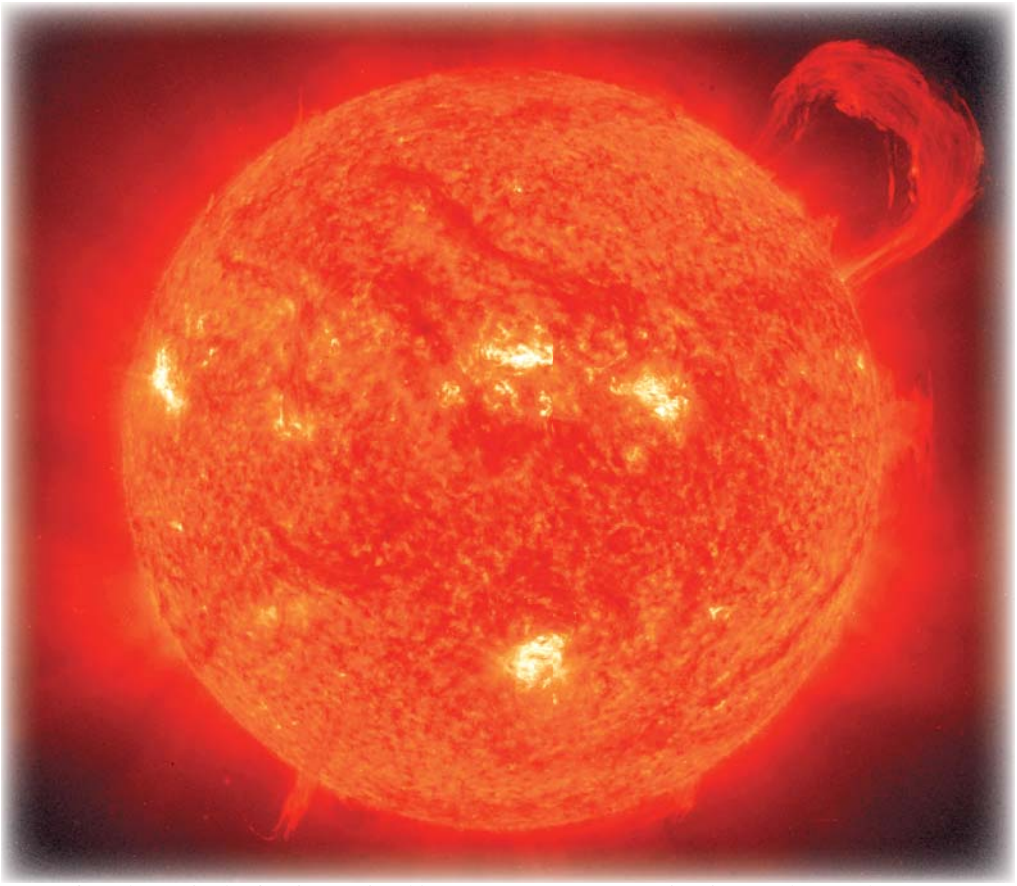
Tre cykler, sommer og en istid

Variationer i klimaet på den store skala som istider, der kommer og går, kan kobles til variationer i Jordens bevægelser omkring Solen. Disse naturlige klimavariationer sætter rammen for en forståelse af klimaet i det menneskenære perspektiv.



Energi fra Solen er drivkraften bag Jordens klima – og variationer i Jordens bane omkring Solen menes at være årsagen til større klimatiske begivenheder såsom istider.

Af Bjarne Siewertsen

■ At klimaet ændrer sig er der ikke noget underligt i set over et tilstrækkeligt langt tidsperspektiv. Snarere kan man i det helt store tidsperspektiv undre sig over, at klimaet ikke har ændret sig mere end det har. De klimatiske processer er således på intet tidspunkt løbet løbsk på en måde, som helt har gjort det umuligt at opretholde livet på jorden – som f.eks. at forvandle Jorden til en ubeboelig, frossen planet eller en gold ørken uden flydende vand.

De klimaændringer, der foregår på den store skala, kan dog ud fra menneskets næsetip synes dramatiske nok endda. Inden for de sidste millioner år har normalen været et koldere og – i vores del af verden – et betydeligt mere ugæstfrit klima end vi har nu. Klimaet har vekslet mellem langvarige istider, hvor store dele af Europa og Nordamerika har været dækket af is, afbrudt af relativt kortvarige og varmere mellemistider.

Vi lever altså nu i en mellemistid, og for at sætte bekymringen for den globale opvarmning i perspektiv kan man indledningsvist spørge, om vi ikke i virkeligheden står på tærsklen til en ny istid og dermed står over for udfordringer i en helt anden størrelsesorden? For dem, der lider af den slags bekymringer er der trøst at hente i den nyeste vurdering fra IPCC (den *4. assessment report* udgivet i starten af 2007). Heri angives det således som *meget usandsynligt*, at jorden inden for de næste 30 tusinde år – af naturlige årsager – vil gå ind i en ny istid.

For at forstå klimaet på den korte skala må vi forstå, hvordan den nuværende klimatiske situation passer ind i den store sammenhæng, som i nyere geologisk tid har været istider, der

Artiklen kommer fra tidsskriftet Aktuel Naturvidenskab. Se mere på www.aktuelnat.au.dk

kommer og går.

Hvad det helt præcist udløser og afslutter istider er endnu et åbent spørgsmål, men de fleste forskere er enige om, at en af årsagerne skal findes i cykliske variationer i Jordens bevægelse omkring solen.

Disse variationer kaldes under et for Milankovitch-cykler efter den jugoslaviske geofysiker Milutin Milankovitch (se boks).

Jordbanens form

Jorden bevæger sig rundt om Solen i en bane, der over et år beskriver en ellipse med Solen i det ene brændpunkt. Hvor meget ellipsen afviger fra det cirkulære – kaldet excentriciteten i ellipsen – varierer over tid på grund af de øvrige planeters massetiltrækningskraft (se boks). Denne variation er cyklisk med en periode på 95.800 år fra at være næsten cirkulær til maksimal excentricitet og tilbage igen.

Aphelion er det punkt i banen, hvor Jorden har den største afstand til Solen i sit kredsløb. Perihelion er modsvarende det punkt, hvor afstanden er mindst. Perihelion nås i vores nutid omkring den 3. januar, når Jorden har en afstand til Solen på ca. 146 millioner kilometer, mens aphelion ligger den 4. juli, hvor vi er kommet 151 millioner kilometer væk fra Solen.

Når bevægelsen rundt om Solen er nær-cirkulær, er afstanden til Solen ved aphelion og perihelion næsten identiske, og når ellipsen har maksimal excentricitet, kan sol-indstrålingen mellem aphelion og perihelion variere helt op til 30 procent.

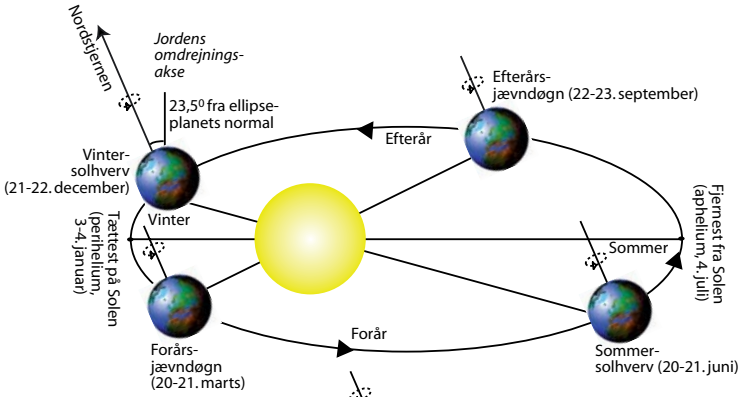
For tiden er sol-indstrålingen syv procent mindre i juni, end det er tilfældet i december.

Jordaksens hældning

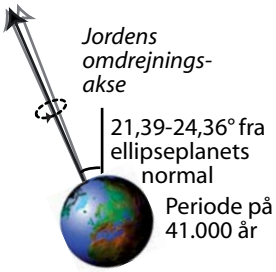
Jorden drejer ikke kun om Solen. På et døgn roterer den om sig selv. Men Jorden rotationsakse er ikke vinkelret på ellipseplanet. Den hælder for tiden 23,44°, men varierer cyklisk fra 21,39° til 24,36° og tilbage igen med en periode på 41.000 år. Den anden cyklus kaldes for inklinationen (se boks).

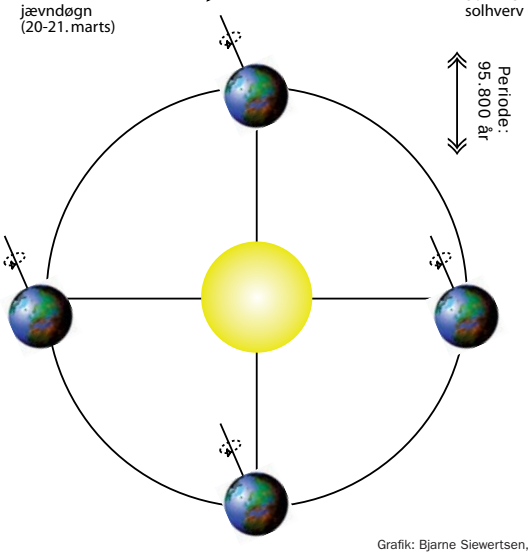
Excentricitet og inklination

Jorden bevæger sig rundt om Solen i en bane, der over et år beskriver en ellipse. Jordens bane omkring Solen varierer fra at være næsten cirkulær til moderat elliptisk. Det tager ca. 100.000 år at gennemløbe en cyklus fra en cirkulær bane til en elliptisk bane med maksimal excentricitet og tilbage igen. →



Jordaksens hældning
Jordens omdrejningsakse i forhold til ellipseplanet varierer mellem 21,39 og 24,36 grader. Denne cyklus kaldes inklinationen og har en periode på ca. 41.000 år. ↓





Grafik: Bjarne Siewertsen, 2007

Croll og Milankovitch

Ideen med at Jordens bevægelse om Solen og sig selv kunne have en cyklisk effekt på Jordens klima er efterhånden en ældre sag. Den blev først foreslået af den skotske naturforsker James Croll (1821-1890) i slutningen af det nittende århundrede.

Croll mente, at de bedste betingelser for udbredelsen af iskapper opstår, når vintrene er mest kolde, altså når der er vinter samtidig med, at jorden er længst væk fra solen i en stærkt excentrisk bane. Han kunne dog ikke få sine beregninger for istidens begyndelse og slutning til at passe med de geologiske vidnesbyrd, som hobede sig op hen mod århundredeskiftet, og hans teori gik en svær tid i møde.

Teorien blev dog i begyndelsen af det tyvende århundrede adopteret og videreudviklet af den jugoslaviske geofysiker Milutin Milankovitch (1879-1958), og han fandt sammen den tyske klimatolog Wladimir Peter Köppen (1846-1940) ud af, hvor Crolls fejl havde ligget. De to beskrev, at det var de kolde somre, der kunne være udslagsgivende for en istid – under en kold sommer opvejer sommerafsmeltningen nemlig ikke vinterpålejringen af is.

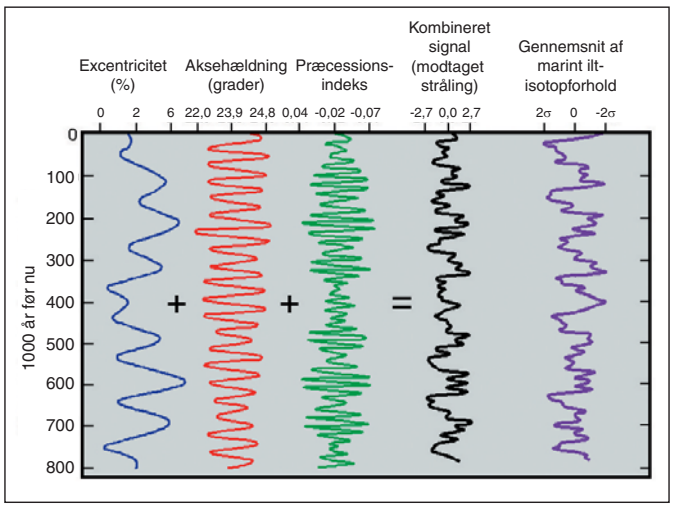
Milankovitch og Köppen fastslog, at det måtte være sommerindstrålingen på den nordlige halvkugle, der måtte være den afgørende faktor. Kun på den nordlige halvkugle ligger landområderne nemlig sådan, at der kan opbygges kontinentale iskapper.

Milankovitchs store bedrift var, at han efterfølgende udregnede indstrålingsvariationer som en funktion af sæson og breddegrader for den seneste million år – og han gjorde det i hånden. Det tog ham også 20 år, og i 1941 udgav han sin 633 sider lange bog med titlen *Kanon over solindstrålingen og istidsproblemet*.

Milankovitch nåede ikke selv at se de geologiske beviser for de postulerede cykler. Ved at undersøge ilt-isotoper i dybhavssedimenter, som tidsmæssigt strakte sig længere end 300.000 år tilbage i tiden, lykkedes det i 1976 maringeologerne Jim Hays, John Imbrie og geofysiker Nick Shakleton at påvise glaciationer, som nøje svarede til 100.000, 41.000 og 22.000 års cykler.

Hays, Imbrie og Shakleton undersøgte de kalkskallede dyr, som udgør bundsedimenterne og kunne spore en ilt-isotopsammensætning i kalken, som viste disse glaciationscykler. Det forholder sig nemlig sådan, at ilt-isotopsammensætningen både i isen og i kalken varierer alt efter, hvor meget eller lidt ^{18}O, der er bundet i iskapperne.

Artiklen kommer fra tidsskriftet Aktuel Naturvidenskab. Se mere på www.aktuelnat.au.dk



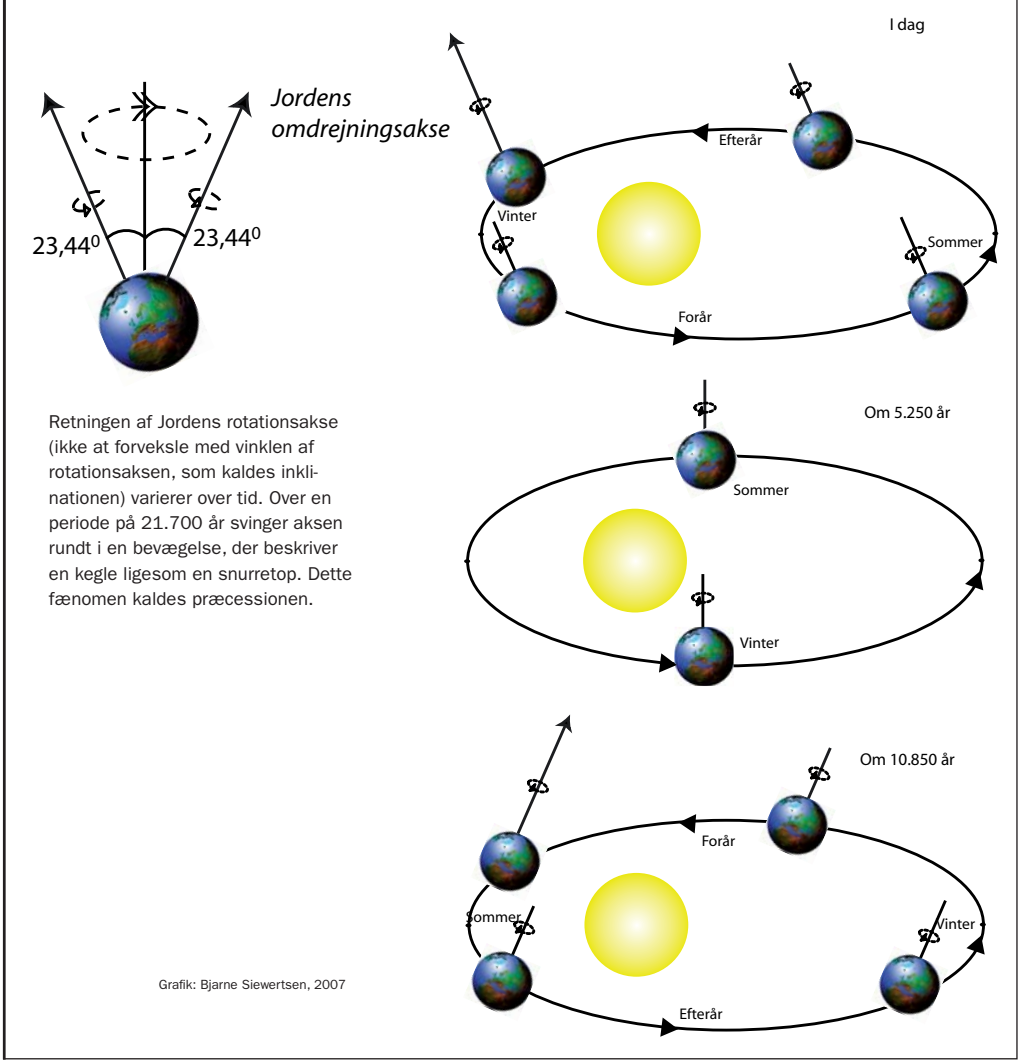
Diagrammet viser den samlede effekt af de tre Milankovitch-cykler (excentriciteten, inklinationen og præcessionen) som variationer i den mængde stråling, Jorden modtager fra Solen. Til højre ses en kurve over iltisotopforholdet O^{18}/O^{16} som målt i borekerner af havsedimenter. Dette forhold er et indirekte vidnesbyrd om temperaturen.

Jo mindre vinklen er, jo mindre bliver forskellen mellem sommer og vinter. Hvis vinklen blev 0° og rotationsaksen altså stod vinkelret på ellipseplanet ville den daglige sol-indstråling på et hvilket som helst sted på Jorden ikke variere hen over året (på nær den variation, der opstår som effekt af excentriciteten).

Modsat vil en større hældning resultere i en forlængelse af den periode, hvor der er vintermørke i de polare regioner.

Ændringer i aksehældningen har stor betydning for, hvor lang dagen (direkte solindstråling) er på høje breddegrader i sommerhalvåret. Her vil en lille hældning være fremmende for opbygning af udbredte iskapper, mens en stor hældning vil være nedbrydende for iskapper.

Præcessionen



Retningen af Jordens rotationsakse (ikke at forveksle med vinklen af rotationsaksen, som kaldes inklinationen) varierer over tid. Over en periode på 21.700 år svinger aksen rundt i en bevægelse, der beskriver en kegle ligesom en snurretop. Dette fænomen kaldes præcessionen.

Grafik: Bjarne Siewertsen, 2007

Snurretop-effekten

Retningen (i dette tilfælde ikke vinklen) af Jordens rotationsakse ændrer sig også cyklisk. Over en periode på 21.700 år svinger aksen rundt i en bevægelse, der beskriver en kegle ligesom en snurretop (se figur). Over denne periode skifter den retning, men ikke hældning, så sommeren om godt 10.500 år forekommer, når Jorden er tættest på Solen. Dermed bliver sommeren varmere end nu, men også kortere. Denne tredje cyklus kaldes præcession.

Ifølge Keplers 2. lov skal forbindelseslinien mellem Jorden og Solen overstryge lige store arealer til lige store tidsrum. Derfor er nutidens vinterhalvår (som er tættere på Solen end nutidens sommer) kortere end sommerhalvåret. Tilsvarende vil sommeren om godt 10.500 år være kortere end vinteren.

Det hele er dog vendt på hovedet på den sydlige halvkugle.

Når sommer bliver til istid

Som det er fremgået styres sommeren og vinteren af inklinationen. Men hvad så med større klimatiske begivenheder som istider, der kommer og går? Dette spørgsmål er lidt mere kompliceret.

De kombinerede effekter af excentricitet, inklination og præcession giver tilsammen en meget kompleks variation af solindstråling over Jordens breddegrader (se figur).

For 2,75 millioner år siden begyndte der at udvikle sig iskapper i større stil på den nordlige halvkugle. Iskapperne opbyggedes og smeltede med en cyklicitet på 41.000 år (og enkelte indslag på 22.000 år) – eller med andre ord i takt med inklinationen. Denne udvikling fortsatte samtidig med, at temperaturen generelt faldt på den nordlige halvkugle.

Nedkølingen og den styrende inklinationscyklus fortsatte indtil for godt 900.000 år siden, hvor afkølingen tilsyneladende nåede en tærskelværdi, hvorefter iskapperne ikke længere smeltede væk efter inklinationscyklerne. Dermed begyndte excen-

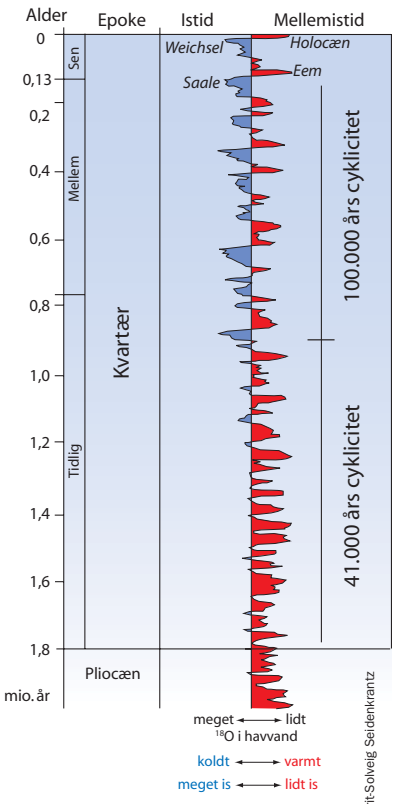
Kortlægning af fortidens klima

Viden om fortidens klima er vigtig for at kunne forstå nutidens klima. Mens man for at kortlægge nutidens klima kan måle de vigtige parametre som temperatur og nedbør direkte, må man ty til indirekte vidnesbyrd, når det gælder om at fastslå de klimatiske forhold på et givet tidspunkt i den geologiske historie. Sådanne geologiske vidnesbyrd om klimatiske forhold kan f.eks. være den geografiske fordeling af geologiske aflejringer, der peger på hhv. et varmt klima – som aflejringer af kul, salt og aflejringer afsat i ørkener – eller et koldt klima som istidsaflejringer. I disse aflejringer vil der ofte være rester af fortidens dyre- og planteliv, som også kan fortælle forskerne om der har været koldt eller varmt på det givne tid og sted.

Når man kigger på meget gamle aflejringer må man selvfølgelig tage hensyn til, at kontinenterne har flyttet sig gennem tiden, så man derved sagtens kan finde aflejringer afsat under tropiske forhold i den arktiske undergrund i dag.

Man kan sige, at jo tættere man kommer på nutiden, jo bedre er de geologiske vidnesbyrd om klimavariationerne – dels fordi der er relativt flere tilgængelige aflejringer af nyere dato og dels fordi der ikke er de samme fejlkilder mht. landmassernes placering. Endelig er det som udgangspunkt også muligt at lave mere nøjagtige dateringer af forholdsvis unge aflejringer, da der er flere mulige dateringsteknikker at vælge imellem, jo yngre aflejringerne er. De sidste tiår har interessen specielt samlet sig om iskerneboringerne på Grønland og Antarktis, idet det her er muligt at aflæse klimavariationerne år for år flere hundrede tusinde år tilbage i tiden. En af de vigtigste metoder til at rekonstruere temperaturen tilbage i tiden er ved at måle mængden af iltisotoperne ^{16}O (som er den almindelige iltisotop, der udgør over 99% af ilten på Jorden) og dens tungere – og sjældnere udgave - ^{18}O. Da den lette iltisotop ^{16}O har lettere ved at fordampe end dens tungere kollega, vil der i kolde perioder være mindre af den tunge isotop til stede i atmosfæren end i varme perioder. Jo koldere atmosfæren er på et givet tidspunkt, jo mindre ^{18}O vil der derfor også være i nedbøren, der falder. I de tykke iskapper vil den relative mængde af de to iltisotoper i de enkelte lag derfor afspejle atmosfærens temperatur på det tidspunkt, hvor laget blev dannet.

Kalkskallede organismer som muslinger og koraller indbygger også et iltisotopsignal i deres skaller, mens de lever. Derfor kan analyser af den kemiske sammensætning af kalkskallede organismer også fortæller forskerne om temperaturforholdende, da organismerne levede.



Temperaturvariationer gennem de seneste 1,8 mio. år.

Grafik: Marit-Solveig Seidenkrantz

Om forfatteren:

Bjarne Siewertsen er informationschef på Danmarks Meteorologiske Institut
Tlf.: 3915 7218
E-mail: bsi@dmi.dk

triciteten at blive styrende, således at istider siden da er optrådt med ca. 100.000 års mellemrum. Oven på denne 100.000 år-cyklicitet kan de mindre cykliciteter på omkring 40.000 og 20.000 år så findes som mindre isfremstød.

Forskerne er generelt enige om, at Milankovitch-ekstremer kan være udløsende for en istid under forskellige forudsætninger. Men der er også enighed om, at der ofte skal mere eller andet til. I samarbejde med Milankovitch-cyklerne virker nemlig også mængden af støv og andre partikler i atmosfæren, ligesom fordelingen af kontinenterne og havstrømme virker på systemet – blandt andet i kraft af ændrede nedbørsmønstre.

En grundsten i vores forståelse

Der er flere små men'er, som ikke er taget med i ovenstående, fordi de ikke er centrale for forståelsen af mekanikken omkring Milankovitch-cyklerne. Således opfører Jorden sig ikke helt som det kugleformede legeme, der forudsættes i Keplers love, og der også skøjtet let hen over de effekter, som massetiltrækningen fra de øvrige planeter i Solsystemet udøver.

Herunder er den væsentlige effekt er, at storaksen i ellipsebanen ikke ligger fast, men bevæger sig i forhold til fikstjernerne. Det påvirker den faktiske længde af præcessionsperioden, men ikke længden af den klimatiske cyklus, som Jorden gennemgår.

Milankovitch-cyklerne udgør som sagt ikke den endegyldige forklaring på klimaets opførsel. Men den indsigt, at Jordens bevægelse rundt om Solen og sig selv har en afgørende betydning for Jordens klima på de lange tidsskaler er i dag en af grundstenene i vores forståelse af Jorden. ■

Litteratur

Ahrens, C.D., 2000: Meteorology today, Brook & Cole.

Dansgaard, W, 1989: Istiderne og Croll-Milankovitch effekten, Naturens Verden

Dawson, A.G., 1992: Ice Age Earth, Routledge.

Lowe, J.J. & Walker, M.J.C., 1984: Reconstructing Quaternary Environments, John Wiley & Sons.

Artiklen kommer fra tidsskriftet Aktuel Naturvidenskab. Se mere på www.aktuelnat.au.dk