

# Mekanismerne i Jordens klima

Jens Olaf Pepke Pedersen, Center for Jordens Klima og Biogeokemiske Kredsløb, og Camilla Bacher, Kemisk Institut, Københavns Universitet

Uanset hvor man lever på Jorden, har vejret betydning for dagligdagen og tilværelsen, og selvom vi i Danmark har indrettet os med mange moderne bekvemmeligheder, er vi alligevel på mange måder afhængige af vind og vejr. Vi er også vant til, at vejret er omskifteligt og at det er altid forbundet med en stor usikkerhed at planlægge aktiviteter, der er afhængige af en bestemt vejrtype. Når vi taler om vejret mener vi i øvrigt atmosfærens tilstand på et bestemt sted og tidspunkt. Ser vi på det gennemsnitlige vejr over en længere periode (som traditionelt vælges til 30 år) taler vi om klimaet, og på trods af, at der kan være stor forskel på f.eks. sommervejret fra år til år, så holder klimaet sig nogenlunde konstant.

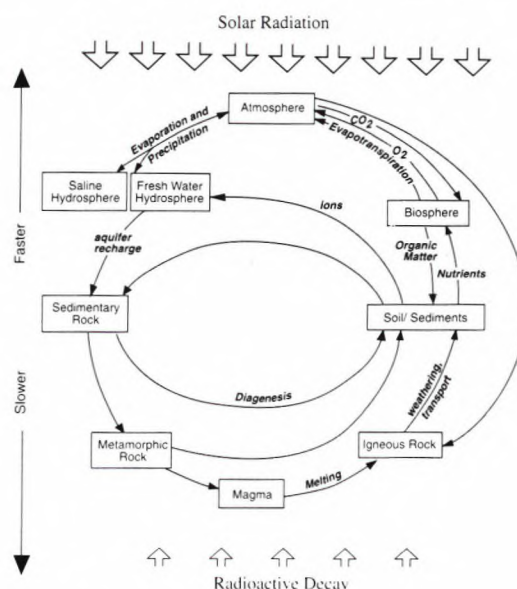
I de senere år har der været en stigende bekymring for, – og også visse tegn på – at klimaet måske alligevel ikke er så konstant, men at det er under forandring. Det vil ikke være noget nyt, hvis klimaet ændrer sig, for vores landskab er jo netop formet af, at det for tusinder af år siden var dækket af en stor iskappe, som siden trak sig tilbage, og også i historisk tid har vi beretninger om kolde og varme perioder. Fra borer i aflejringer på oceanernes bund og ned gennem iskappen på Grønland og Antarktis ved vi, at istider har afløst hinanden med en forbavsende regelmæssighed på ca. 100.000 år, og specielt under de kolde istider indikerer målingerne, at klimaet har været meget ustabil, formodentlig på grund af hurtige ændringer i oceanernes cirkulation.

Går vi længere tilbage gennem Jordens geologiske perioder har vi tegn på, at der undervejs har været dramatiske episoder med store ændringer, der har frembragt såvel nye livsformer som katastrofale udryddelser. Klimaet har således udvist store variationer, og der findes f.eks. geologiske tegn på, at Jorden på et tidspunkt har været helt isdækket, og i andre geologiske perioder har klimaet været meget varmere end idag. De geologiske aflejringer fortæller os imidlertid også, at livet har eksisteret på Jorden lige siden det opstod for mindst 3,5 milliarder år siden. Forholdene på vores planet har altså i hele dette enorme tidsrum alligevel ikke ændret sig mere end at livet har kunnet overleve, og i den nuværende mellemstid kan vi endda betegne klimaet på Jorden som relativt stabilt.

Selvom klimaet altid har ændret sig, vil det dog være nyt, hvis klimaændringerne skyldes menneskelige aktiviteter. Netop på grund af de naturlige variationer fra år til år er det vanskeligt at afgøre, om klimaet er ved at ændre sig, og om det i givet fald er menneskeskabt. Ganske vist har vi i de seneste år herhjemme haft nogle ekstreme vejrforhold, som århundredets orkan, den største nedbørsmængde og det varmeste år, men

da vi på globalt plan kun har målinger, der rækker godt 100 år tilbage, kan det altid diskuteres om en ny rekord er et tegn på en klimaændring eller en tilfældig fluktuation. Derfor er rekonstruktioner af det globale klima siden istiden vigtige for at kunne forstå, om en temperaturændring er usædvanlig. I historisk tid kender vi således flere temperaturvariationer, bl.a. "den lille istid fra 1600–1800 tallet, som diskuteres i artiklen om den Nordatlantiske Oscillation i Kvant nr. 4 side 29.

Et af de tydeligste tegn på den menneskelige aktivitet, er at vi har ændret atmosfærens sammensætning som følge af luftforurening og afbrænding af fossilt brændstof, ligesom vi har ændret vegetationens sammensætning som følge af skovrydninger og landbrugsdrift. Modelberegninger, der omtales nærmere i artiklen af Eigil Kaas side 21 tyder på, at dette kan føre til store regionale ændringer i klimaet indenfor de næste 100 år. Modellerne viser f.eks. en stor stigning i temperatur og nedbør i vintermånederne i de arktiske egne, mens nedbøren bliver mindre i mange subtropiske områder. I Danmark bliver temperaturstigningen ca. 3–4 grader.



Figur 1. Klimasystemet.

Disse ændringer vil forstærkes eller formindskes af naturlige variationer, ligesom modelberegninger for et komplekst system som Jordens klima nødvendigvis indeholder forenklinger i beskrivelsen af systemet samt er baseret på antagelser for f.eks. det fremtidige udslip af drivhusgasser. Derfor kan klimaændringerne vise sig at blive langt mindre – eller langt værre – end forudsagt. Hvad der imidlertid bør give anledning til bekym-

ring er, at vi faktisk ikke har afdækket hvad det er for mekanismer, der opretholder de stabile forhold, ligesom vi heller ikke ved, hvad der er årsagen til nogle af de kraftige ændringer. Vi ved således heller ikke, om vi måske er tæt på at overskride en kritisk grænse hvor klimaet pludseligt ændrer sig i en dramatisk retning med store omvæltninger til følge. Derfor er der i hvert fald god grund til at se nærmere på mekanismerne i Jordens klima.

## Klimasystemet

Vi kan betragte klimasystemet som et komplekst system af forbundne komponenter, som antydnet på figur 1. Komponenterne er Jordens forskellige sfærer, som atmosfæren, oceanerne, kryosfæren (ismasserne), hydrosfæren (søer, floder, grundvand), litosfæren (fastlandet) og biosfæren. Alle disse komponenter er forbundet med hinanden gennem en udveksling af stof og energi, og hvis vi vil beskrive klimaet må vi derfor se på såvel de enkelte komponenterne som de globale kredsløb.

Udvekslingen af energi sker især ved stråling samt ved transport af fri varme i atmosfæren og oceanerne, ved latent varme (vanddamp i atmosfæren) og bevægelsesenergi. De vigtigste massetransporter er vand og kulstof, men det har også betydning for klimaet, hvordan f.eks. svovlkredsløbet opfører sig og ikke mindst kredsløbene med næringsstoffer som fosfat og nitrat spiller en rolle. Klimasystemets opførsel afhænger derfor af, hvorledes energi- og massestrømme ændres og hvorledes disse strømme påvirker systemet. Kredsløbene er karakteriserede ved meget forskellige tidsskalaer for deres dynamik og de omfatter både biologiske, geologiske, kemiske og fysiske mekanismer. Under et kaldes de for biogeokemiske kredsløb. Klimafysik bygger derfor på discipliner fra meteorologi, oceanografi, geologi, kemi, fysik og biologi. Når vi mennesker griber ind i kredsløbene ændrer vi stof- og energitransporten – f.eks. kan vi betragte forurening som en flytning af stoffer fra et sted i klimasystemet til et andet sted.

Energien til at opretholde alle kredsløbene kommer fra solen. Da Jorden ikke virker tilbage på solen, betragter vi ikke solen som en del af klimasystemet, men som en ydre påvirkning. Hvis solstrålingen ophørte for en periode, f.eks. hvis et kæmpe meteornedslag sendte store mængder støv og vanddamp op i atmosfæren, ville Jordens temperatur falde dramatisk i løbet af få år, men heldigvis ser der ud til at gå mange millioner år mellem disse begivenheder. Solens udstråling har dog ikke været konstant under hele Jordens udvikling, idet solen idag udstråler ca. 30% mere energi end da livet opstod. Alligevel har klimaet justeret sig efter den øgede indstråling.

Af klimasystemets komponenter er Jordens atmosfære den mest omskiftelige, som hurtigt reagerer på ydre påvirkninger og har en lav varmekapacitet. Kvæl-

stof og ilt udgør 99% af atmosfærens volumen og 99% af massen befinder sig nedenfor 30 km fra Jordens overflade. Set fra rummet syner atmosfæren kun som en tynd hinde omkring Jorden, men dette tynde lag er afgørende for vores eksistens. Da solstrålingen især opvarmer Jordens overflade, som overfører varme til atmosfæren, bliver atmosfæren opvarmet nedefra, og da varm luft udvider sig og stiger til vejrs, bliver atmosfæren turbulent. Den lave varmekapacitet betyder samtidig, at atmosfærens "hukommelse" kun er nogle få uger.

I modsætning til atmosfæren er oceanerne en meget træg komponent, der har en stor varmekapacitet og kan opmagasinere enorme energimængder. Oceanerne virker derfor som en støddæmper i klimasystemet. Samtidig opvarmes havet fra oven og derfor er langt mere stabilt, og hvor overfladelagene kan reagere på ydre påvirkninger i løbet af måneder eller få år, kan det tage århundreder før væsentlige ændringer registreres i dybhavet.

## Energistrømme

Stort set al den energi der når Jorden kommer fra Solen. Den gennemsnitlige temperatur på Jorden er stort set konstant, hvilket antyder at strålingsbalancen er rimeligt opretholdt: Den mængde energi der indstråles fra Solen returneres tilbage til verdensrummet enten direkte ved refleksion eller som langbølget stråling.

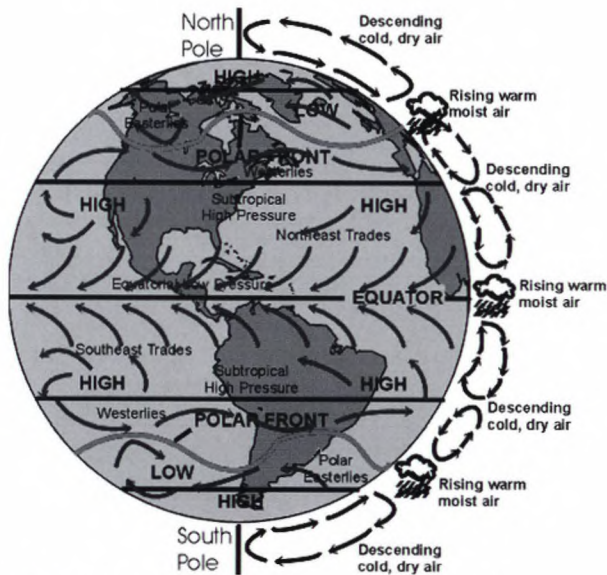
Målt udenfor Jordens atmosfære er mængden af energi der kommer fra solen i gennemsnit  $1370 \text{ Wm}^{-2}$ . Dette kaldes *solkonstanten* hvilket er et uheldigt navn, for energiindstrålingen fra Solen varierer – endda på mange forskellige tidsskalaer hvilket bl.a. er konstateret ved kontinuerede målinger fra satellitter siden 1979. Variationer på op til 0,2% ses på en tidsskala der er nøje korreleret med Solens rotation og svarer til at vi ser mørke og lyse områder på solskiven. Andre variationer der er i samme størrelsesorden er korreleret med den 11-årige solpletcyklus. Begge disse variationer har således noget med Solen selv at gøre (læs mere i artiklerne af Henrik Svensmark side 4 i dette nummer samt af Sven Ove Thimm i Kvant nr. 4 side 3) og kan betegnes som en ydre påvirkning.

Jorden "rammes" af en energimængde der kan beregnes som solkonstanten (som netop er energimængden per areal), ganget med arealet af jordskiven. Denne energi skal fordeles ud over en halvkugle, nemlig den del af Jorden hvor der er dag. Den gennemsnitlige mængde af energi der modtages ved toppen af atmosfæren er således  $342 \text{ Wm}^{-2}$ . Står man på Jorden vil at den modtagne stråling selvfølgelig afhænge af på hvilken breddegrad man befinder sig – ved ækvator modtages der mere energi end ved polerne. Dette udjævnes gennem varmestrømme i atmosfæren og havet.

Eftersom indstrålingen er størst ved ækvator, sker der i troperne en kraftig opvarmning af luften ved jordoverfladen og en kraftig fordampning af vand fra

havoverfladen. Da den opvarmede luft ved overfladen er lettere end den køligere luft ovenover stiger varm og fugtig luft til vejrs (det er også denne forskel i densitet, der er årsagen til at en varmluftballon kan flyve). Efterhånden som luften stiger op afkøles den, og da kold luft kan indeholde mindre fugtighed end varm luft, afgiver luften undervejs sin fugtighed som nedbør. Det giver anledning til de store nedbørsmængder man har i troperne med frodige regnskove næsten alle steder på Jorden omkring ækvator som følge.

Hvor højt luftmasserne stiger, afhænger af atmosfærens temperaturfordeling, men de kan dog ikke nå højere op end til stratosfæren, hvor temperaturen begynder at stige med højden. Herefter tvinges luftmasserne til at udbrede sig horisontalt. Det giver anledning til nord- og sydgående vinde i stor højde. Efterhånden som luften kommer væk fra ækvator afkøles den og ved omkring 30. breddegrad begynder den at synke nedad igen hvorved luften opvarmes og får en lav luftfugtighed. Således opstår de højtryk i subtropenerne hvor der er meget lidt nedbør. Et kig på et verdenskort afslører at mange af verdens store ørkener netop ligger i et bælte omkring 30 grader nord og syd. Ved overfladen føres luften atter tilbage til ækvator og giver anledning til passatvindene, der på grund af Jordens rotation afbøjes mod højre på den nordlige og mod venstre på den sydlige halvkugle, se figur 2.

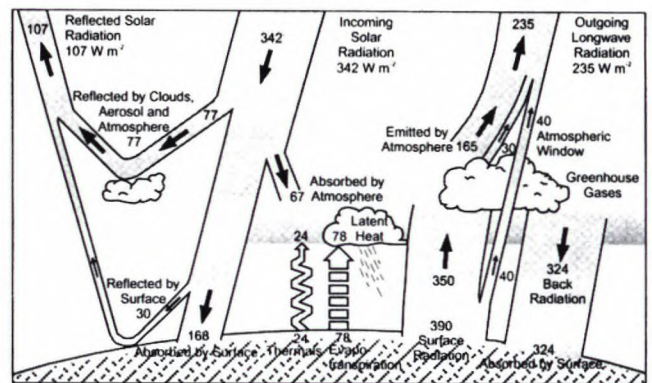


Figur 2. Det globale cirkulationsmønster i atmosfæren.

Denne lukkede luftstrøm, der transporterer energi bort fra ækvator, kaldes Hadley cellen, og som det ses på figur 2 findes to andre celler der virker hhv. ved mellem-breddegraderne og ved polerne, og som har samme effekt på energitransporten. At der dannes mere end en enkelt celle mellem ækvator og polerne er i øvrigt også en effekt af Jordens rotation samt af Jordens krumning, der får luftstrømmene til at presses sammen på vej mod polerne. På vore (mellem-)breddegrader

er billedet af en cirkulationscelle dog en noget ufuldstændig beskrivelse af cirkulationen. Modellen med fremherskende vestenvinde ved jordoverfladen passer godt med observationerne, men i højden er vindretningen også vestlig og ikke østlig. Vestenvindene er her centreret omkring en global jetstrøm, der skifter position over året i store bølgelignende bevægelser. Disse store planetare (Rossby-)bølger sørger for energitransporten fra subtropenerne mod polarområdet, og luftstrømmene har stor betydning for det regionale klima.

Også i havene findes tilsvarende energistrømme der bidrager til at udligne temperaturforskellen mellem ækvator og polerne. I Det nordlige Atlanterhav driver vindsystemet således Golfstrømmen (Den nordatlantiske Strøm), der transporterer varmt vand nordpå i Atlanterhavet, og undervejs afgiver sin varme til atmosfæren. Herefter bringer vestenvindene på vore breddegrader varmen fra havstrømmen ind over land og er således med til at gøre klimaet i Vesteuropa så mildt som det er.



Figur 3. De globale middel-energistrømme mellem overfladen og atmosfæren.

### Strålingsbalancen

Figur 3 illustrerer hvad der sker med den energi der kommer ind fra Solen. Ca. 30% reflekteres direkte tilbage til verdensrummet, og det er jordoverfladens udseende og atmosfærens sammensætning (inklusive skyer og partikler), der bestemmer, hvor meget solstråling, der tilbagekastes. Is- og snedækkede områder tilbagekaster meget sollys. Hvide skyer (især lavt-liggende skyer med mange små skydråber) tilbagekaster også en meget stor del af sollyset hvorimod højtliggende tynde is-skyer tillader passage af det meste af solstrålingen. Skyer er i det hele taget besværlige at have med at gøre i de store klimamodeller.

Den energi som ikke reflekteres, absorberes enten i atmosfæren, jordoverfladen eller oceanerne eller bruges til fordamning af vand. I atmosfæren afsættes en væsentlig brøkdel af energien i processer der spalter molekyler.

Solens energiidstråling minder tilnærmelsesvis om

det man ser fra et sort legeme med en temperatur på 5.500°C, dvs. at hovedparten af lyset har en bølgelængde på mellem 200 nm og 3  $\mu\text{m}$ . På vej ned gennem atmosfæren absorberes en del af energien fra solen af molekyler i atmosfæren. Lys med en bølgelængde kortere end 250 nm absorberes af O<sub>2</sub> (og af N<sub>2</sub>) som bruger energien til at bryde den kemiske binding hvorved der dannes to frie iltatomer. En del af energien omsættes også til bevægelsesenergi dvs. varme, og det ses af figur 4 at temperaturen stiger op gennem stratosfæren som følge af disse processer. Tropospausen – grænsen mellem troposfæren og stratosfæren er netop bestemt som det sted i atmosfæren hvor temperaturen har et lokalt minimum. Langt nede i atmosfæren er al kortbølget stråling absorberet, hvorved opvarmningen af luften som følge af fotolysen af ilt ophører.

De frie iltatomer kan rekombinere med O<sub>2</sub> og danne ozon (O<sub>3</sub>) som selv absorberer lys med bølgelængder på op til 300 nm. Som et resultat heraf absorberes al stråling under 300 nm effektivt i stratosfæren. Også langbølget stråling fra solen absorberes af drivhusgasser som vand og kuldioxid.

Den energi der overlever turen ned gennem atmosfæren absorberes enten i jordoverfladen eller i oceanerne. Det bidrager alt sammen til en opvarmning af jordens overflade. Jorden slipper af med hovedparten af denne varme ved at udstråle infrarød stråling (varmestråling) til rummet.

Hvis der ikke var nogen atmosfære, ville temperaturen ved jordoverfladen være mindst 30°C lavere, end den faktisk er. En af de væsentligste årsager til denne forskel er drivhuseffekten, som altså er en naturlig effekt, der er afgørende for de nuværende former for liv på Jorden. Drivhuseffekten virker ved, at bestemte luftarter (drivhusgasserne) og skyerne absorberer en del af den varmestråling, der kommer nedefra. Dermed opvarmes atmosfæren. Atmosfæren slipper af med denne varme igen ved at drivhusgasser og skyer udstråler varmestråling både opad og nedad mod Jorden. Drivhusgasserne og skyerne virker på denne måde som en slags isolerende lag, der holder på varmen i atmosfæren, oceanerne og jordoverfladen. Temperaturen bliver således højere, end den ville være uden en atmosfære.

De vigtigste drivhusgasser er vanddamp, kuldioxid, metan, lattergas, CFC-gasser (freongasser) og ozon. Per molekyle er vanddamp ikke særlig effektiv, men da denne gas forekommer i store koncentrationer i atmosfæren, er det den vigtigste drivhusgas (læs også artiklen om atmosfærens kemi i Kvant nr. 4 side 22).

Ændringer i de enkelte strålingsforhold vil forrykke hele energibalancen. Det kan være svært at forudsige præcis hvordan en ændring vil påvirke de klimatiske parametre som temperatur, nedbør mv. fordi mange af mekanismerne virker tilbage på sig selv og på andre mekanismer. Det kaldes tilbagekobling (feedback) og disse kan både kan være positive – dvs. forstærke en

### Milankovitch og istiderne...

Grunden til at vi har årstider på Jorden er, at Jordens rotationsakse hælder 23,5 grader i forhold til Jordens bane rundt om solen. Den halvdel af Jorden der vipper således at den peger mod solen har sommer og den anden halvdel har vinter. Årstiderne har stor betydning for klimaet – prøv f.eks. at forestille dig at forskellene mellem årstiderne blev udjævnet, således at vintrene blev mildere og somrene køligere. Meget tyder på at køligere somre giver isdækkede områder mulighed for at overleve til næste vinter og derved at isfelter bygges op med en yderligere afkøling til følge: Feedbackmekanismer vil forstærke disse effekter idet sne og is reflekterer sollys. Der er også noget der tyder på, at når ismængden stiger så falder indholdet af drivhusgasserne kuldioxid og metan. Hvorfor dette sker ved man ikke i detaljer, men konsekvensen af et faldende indhold af drivhusgasser i atmosfæren er, at temperaturen falder yderligere.

Der er tre måder hvorpå ændringer i jordbanen påvirker energifordelingen her på Jorden:

Hældningen af Jordens rotationsaksens i forhold til Jordens baneplan om Solen varierer mellem 22 og 24,5 grader med en periode på 41.000 år. Jo større hældning er jo mere ekstreme bliver årstiderne og det har betydning for klimaet som vi så ovenfor.

En anden ændring er tidspunktet for perhelion dvs. det sted hvor Jorden er tættest på Solen, en ændring der har en periode på mellem 19.000 og 24.000 år. Lige nu er Jorden tættest på solen i januar, hvor vi har vinter på den nordlige halvkugle og sommer på den sydlige. Det betyder at det er lidt varmere om sommeren på den sydlige halvkugle og om vinteren på den nordlige, end det havde været uden denne effekt. Når somrene alligevel er varmere på den nordlige end på den sydlige halvkugle skyldes det fordelingen af kontinenterne, hvor den største landmasse findes på den nordlige halvkugle.

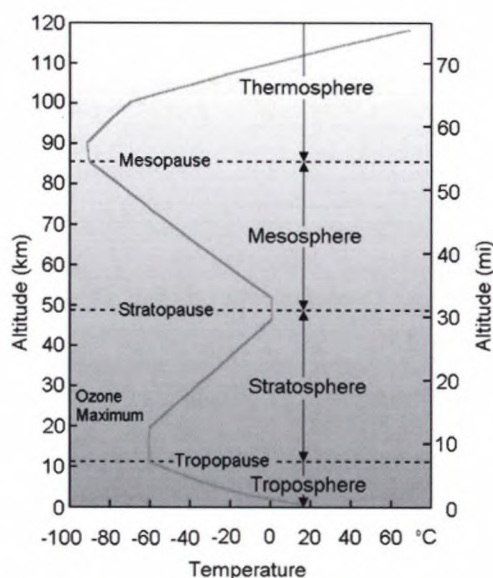
En tredje ændring er jordbanens form der kan blive mere eller mindre elliptisk, hvad også kan føre til ændring af den relative styrke af årstiderne. Disse variationer i Jordens bane har en periode, der i gennemsnit er ca. 95.000 år.

Disse periodiske ændringer i jordbanens form kaldes for *Milankovitch perioder*, efter den serbiske matematiker der først beskrev dem i 1920. De er godt korrelerede med istiderne som de dermed regnes at være ansvarlige for, selvom det diskuteres præcis hvilke mekanismer, der omsætter variationerne i Jordens bane til klimatiske ændringer.

forandring – eller negative, dvs. dæmpe en forandring og dermed stabilisere klimasystemet.

Et eksempel: Hvis temperaturen på Jorden stiger, vil det give mere vanddamp i atmosfæren. Vanddamp er en kraftig drivhusgas og det vil forøge drivhuseffekten med en yderligere opvarmningen af Jorden som følge. Det er et eksempel på positiv feedback i systemet. Omvendt vil mere vanddamp i atmosfæren give en flere skyer. Skyer i troposfæren reflekterer, og det vil dermed have en kølende effekt. Det er således et eksempel på negativ feedback.

En anden ydre påvirkning, der kan forrykke Jordens energibalance er den kosmiske stråling, som består af en regn af partikler fra verdensrummet. Partiklerne kan nemlig påvirke dannelsen af skyer, som igen påvirker klimaet. Denne mekanisme diskuteres i artiklen af Henrik Svensmark side 4.



Figur 4. Atmosfærens temperaturprofil.

## Stofkredsløbene

Vandets kredsløb er helt afgørende for klimaet. Således bruges omkring halvdelen af energien i den indkommende solstråling til at fordampe vand og en stor del af resten bruges til at opvarme vand i oceanernes overflade, der dækker mere end 70% af Jordens overflade. Oceanerne indeholder 97% af klodens vandmasser, og varmetransport med havstrømme er således et vigtigt bidrag til at udligne temperaturforskellene mellem ækvator og polerne, ligesom vandmasserne kan oplagre store energimængder og dermed dæmpe svingninger i klimaet.

I forhold hertil er atmosfærens indhold af vanddamp forsvindende, kun ca. 0,001%. Alligevel er vand i atmosfæren en meget vigtig – og sårbar – komponent i klimasystemet, fordi mængden af vanddamp øjeblikkeligt reagerer på ændringer i klimaet. Fordelingen af vand i atmosfæren er derfor kritisk – dels fordi vand-

damp også er en drivhusgas, og dels fordi vanddampen ofte kondenserer andre steder end den fordampede og derfor bidrager til energitransporten i atmosfæren. Endelig er fordelingen af nedbør naturligvis afgørende for biosfæren.

Kulstofkredsløbet er også med til at forbinde de forskellige sfærer til hinanden og har ligeledes en direkte indflydelse på klimaet, fordi det regulerer to vigtige drivhusgasser, nemlig CO<sub>2</sub> og CH<sub>4</sub>. I sammenligning med vandets kredsløb er kulstofkredsløbet meget mere komplekst og meget langsommere. Det introducerer til gengæld muligheden for feedback mekanismer med meget lange tidskonstanter i klimaet. Kulstofkredsløbet og disse mekanismer uddybes i artiklen i Kvant nr. 4 side 10.

Andre stofkredsløb, der kobler komponenterne sammen og påvirker klimaet, er svovl, kvælstof og fosfor. Sulfater er f.eks. ansvarlige for dannelsen af aerosoler, der ændrer refleksionen af solstrålingen, og kvælstof indgår i en række kemiske reaktioner, der dels producerer drivhusgasser og dels indgår i kemien i ozonlaget. Endelig udgør mængden af såvel kvælstof som fosfor i overfladelaget en begrænsning for den biologiske produktivitet i oceanerne og dermed også for CO<sub>2</sub>-kredsløbet.

## Klimaændringer

Klimaændringer kan derfor skyldes ændringer i stof- og energikredsløbene. Årsagerne til disse ændringer kan være naturlige og f.eks. skyldes ændringer i solens udstråling eller i Jordens bane omkring solen (se boks). På geologiske tidsskalaer har fordelingen af oceaner og kontinenter samt deres indbyrdes placering haft en dramatisk betydning. F.eks. kan der jo ikke være nogen Golfstrøm, hvis der ikke er et Atlanterhav, ligesom åbningen af passagen mellem Sydamerika og Antarktis samt lukningen af passagen mellem Syd- og Nordamerika har ændret globale cirkulationsmønstre i oceanerne. På meget korte tidsskalaer har f.eks. vulkansk aktivitet og deraf følgende ændringer i atmosfæren betydning, men i historisk tid har disse ændringer været små og kortvarige og typisk resulteret i en afkøling på nogle tiendedele grader i nogle få år.

Sammenlignet med de naturlige variationer er virkningen af menneskets aktiviteter på klimasystemet ikke dramatisk. Det nye er imidlertid, at ændringerne sker på en langt hurtigere tidsskala end de naturlige variationer. I artiklen side 21 diskuteres Eigil Kaas, hvor stor effekten er, og hvordan de ændringer, vi har sat igang kan tænkes at påvirke klimaet fremover.

Selvom der er usikkerhed i modelberegningerne og om mange af mekanismerne i klimasystemet er der ikke tvivl om, at klimaændringer vil være et centralt diskussionsemne i mange år fremover. Forhåbentlig vil læseren af disse numre af Kvant blive inspireret til at følge debatten og selv tage kritisk stilling til argumenterne.